

VAASAN YLIOPISTO

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

ENERGIATEKNIikka

Tomas Haapala

**MOOTTORILABORATORIOIDEN PAKOKAASUMITTAUSJÄRJESTELMÄN
SUUNNITTELU**

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Vaasassa 10.8.2017

Työn valvoja

Seppo Niemi

Työn ohjaaja

Jukka Kiijärvi

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Vaasan yliopiston teknillisessä tiedekunnassa osana diplomi-insinöörin tutkintoa. Tämä diplomityö on osa EU:n rahoittamaa Hercules-2-tutkimusohjelmaa, jonka tavoitteena on tutkia polttoainejoustavan, lähes nollapäästöisen ja suorituskyvyltään mukautuvan laivamoottorin kehittämistä.

Kiitän työni valvojaa professori Seppo Niemeä, joka tarjosi minulle tämän aiheen sekä työni ohjaajaa Jukka Kiijärveä opastuksesta diplomityön kirjoituksen aikana. Tutkimuksen aikana tehtiin yhteistyötä Wärtsilän kanssa. Kiitän sujuneesta yhteistyöstä ja arvokkaista neuvoista Juha Kortelaista. Kiitän lisäksi laboratorioinsinööri Olav Nilssonia tutkimusaiheeseen perehdyttämisestä ja avusta tutkimuksen aikana.

Pori, 10.8.2017

Tomas Haapala

SISÄLLYSLUETTELO**sivu**

ALKUSANAT	1
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	8
TIIVISTELMÄ	10
ABSTRACT	11
1 JOHDANTO	12
2 MITATTAVAT PÄÄSTÖKOMPONENTIT JA MITTALAITTEET	14
2.1 Technobothnian moottorilaboratorion mittalaitekaappi	15
2.1.1 VE 222, CSS-M ja EC-M	16
2.1.2 CLD 822 M h -kaasuanalysaattori	17
2.1.3 VE7-hiilivetyanalysaattori	18
2.1.4 Ultramat 6 ja Oxymat 61 -kaasuanalysaattorit	19
2.2 EEPS 3090 -hiukkaskokospektrometri ja laimennin	21
2.3 Gasmeter DX4000 -kaasuanalysaattori	23
2.4 AVL 415S -savutusmittari	24
2.5 SICK-pakokaasumittausjärjestelmä	25
2.6 Näytelinjat ja läpiviennit	28
2.7 Kalibrointikaasut	30
3 SUUNNITELMA VEBICIIN TECHNOBOTHNIAN LAITTEISTOLLE	34
3.1 Näytelinjojen tarpeet ja reititys	36
3.2 Mittalaitteet laboratorioissa 1 ja 2	39
3.3 Pakokaasunäytelinjat laboratorioissa 1 ja 2	40
3.4 Mittalaitteet ja näytelinjat laboratorioissa 3	44
4 SUUNNITELMAT SICK-LAITEKAAPILLE JA EEPS:LLE	49
4.1 SICK-laitekaappi	49
4.1.1 SICK-laitekaapin sijoittaminen apulaitetilaan	49
4.1.2 SICK-laitekaapin sijoittaminen moottoritilaan	52
4.1.3 SICK-laitekaapin näytelinjan ja putkinipun sijoitus	55
4.1.4 SICK-laitekaapin asennus laboratorioon 2	62
4.1.5 SICK-laitekaapin käyttöönotto	63
4.1.6 Suunnitelmien toteutus tutkimuksen aikana	65
4.2 EEPS-hiukkaskokospektrometrin asennus	66
4.2.1 Asennus laboratorioihin 1 ja 2	66
4.2.2 Asennus laboratorioon 3	67
4.2.3 EEPS:n laimenninpään asennus	68
4.2.4 Hiukkasmittauksen muuttuvat vaatimukset	68
5 ANALYSAATTOREIDEN TIEDONKERUU JA LIITTÄMINEN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄÄN	70

6	JOHTOPÄÄTÖKSET	73
7	YHTEENVETO	76
	LÄHDELUETTELO	78
	LIITTEET	83

KUVALUETTELO**sivu**

Kuva 1. Technobothnian laboratorion pakokaasujen mittalaitekaapin laitteet numeroituna: 1) CLD 822 M h, 2) ohjaussäätimet, 3) VE 7, 4) Ultramat 6, 5) Oxymat 61, 6) VE 222 ja 7) EC-M.	16
Kuva 2. VE7-hiilivetyanalysaattorin toimintaa kuvaava periaatekaavio. Mukailtu lähdettä J.U.M. (2005).	19
Kuva 3. Oxymat 61:n toimintakaavio. Numeroidut kohdat on esitetty taulukossa 2. Mukailtu lähdettä Siemens (2011: 16). 1. referenssikaasun sisääntulo, 2. virtauksen rajoittimet, 3. referenssikaasukanavat, 4. paineanturi, 5. kaasunäytteen sisääntulo, 6. näytekammio, 7. paramagneettinen efekti, 8. sähkömagneetti muuttuvalla magneettikentän tiheydellä, 9. näytekaasun ja referenssikaasun ulostulo.	20
Kuva 4. EEPs 3090 -hiukkaskokospektrometri Technobothnian laboratoriossa.	22
Kuva 5. Technobothnian Gasmeter DX4000 -laitteisto.	24
Kuva 6. AVL 415S Smoke meter (AVL 2014: 1).	25
Kuva 7. SICK-laitekaappi varastoituna ennen VEBIC:iin kuljetusta.	27
Kuva 8. Lämpösaatetun näytelinjan yleinen rakenne, johon on merkattu kokonaisuuden muodostavat osat.	29
Kuva 9. Hiltin valmistama suljettava CFS-SL-palokatkokaulus (Hilti 2017).	30
Kuva 10. Laboratorion 3 seinään kiinnitetty kaasupiste, jossa on saatavilla viittä eri kaasua.	32

Kuva 11. VEBIC:n ilmakompressori toimitettuna laboratorion 1 alakertaan.	33
Kuva 12. Moottoreiden pakokaasumittausjärjestelmän kaaviokuva laboratorioihin 1 ja 2.	35
Kuva 13. Moottoreiden pakokaasumittausjärjestelmän kaaviokuva laboratorioon 3.	35
Kuva 14. Kuva moottorilaboratorion 1 aputilasta, mihin on esitetty mahdollinen laitteiden sijoitus. Kuvassa näkyvän takaseinän takana on laboratoriotila. Vasemmalla näkyvä ovi vie valvomoon.	40
Kuva 15. Laboratorion 1 yksinkertaistettu pohjakuva ja pakoputki. Punainen katkoviiva kuvaa näytelinjojen reittiä.	42
Kuva 16. Yksinkertaistettu piirustus laboratorion 3 rakenteesta.	44
Kuva 17. Laboratorion 3 yläosa, jossa mustalla katkoviivalla on merkitty yksi näytelinja kultakin mittauspisteeltä ja kaksi lähtevää näytelinjaa EEPS:n laimenninpäästä. Punainen katkoviiva kuvaa mahdollista EEPS:n paikkaa. Punaisella ympyröidyt numerot kuvaavat kahden pakoputken vastaavia mittauspisteitä.	45
Kuva 18. Laboratorion 3 valvomotilan näytelinjojen kaksi mahdollista reittiä laboratorion yläosasta alakertaan kuvattuna mustalla katkoviivalla. Kuvan vasemmanpuoleinen ovi vie testiselliin 3.2 ja oikeanpuoleinen ovi vie testiselliin 3.1. Yläreunassa näkyy kulkusilta yläosan ovelta testisellien katolle pakoputkien läheisyyteen.	46

- Kuva 19. Moottorilaboratorion 1 testisellin yksinkertaistettu pohjapiirustus. Kuvassa on merkitty mittasuhteineen ja merkinnöin tekstissä esitetyt sijoitukseen vaikuttavat tekijät. Kuvassa näkyvä kierreportaikko johtaa toisen kerroksen valvomon ja laiteilan väliselle ovelle. Kuvassa on esitetty myös rakenteiden palkit, joiden lähettyville pakoputki on asennettu. 55
- Kuva 20. Kuva VEBIC:n laboratorion 1 moottorilasta. Punaisella katkoviivalla on merkitty mahdollinen SICK-laitekaapin paikka ja vihreällä sille tulevan linjan reitti. 59
- Kuva 21. Kuva VEBIC:n laboratorion 1 moottorilasta. Vihreällä katkoviivalla on merkitty SICK-laitekaapille tulevan linjan reitti. Mustalla katkoviivalla on merkitty aputilaan sijoitettavien laitteiden linjojen reitit. Punaisella katkoviivalla on merkitty EEPS:n mahdollinen paikka huoltotasolla. Punaiset ympyrät seinällä kuvaavat mahdollisten läpivientien paikkaa. 60
- Kuva 22. Kuva VEBIC:n laboratorion 1 moottorilasta. Vihreällä katkoviivalla on merkitty SICK-laitekaapille menevän linjan reitti. Mustalla katkoviivalla on merkitty aputilaan sijoitettavien laitteiden linjojen reitit ja EEPS:n laimennuspäältä lähtevät linjat. Punaisella reunustettu harmaa neliö kuvaa SICK-laitekaapin näytteenotinta. 61
- Kuva 23. Lämpösaatetun näytelinjan asennussuosituksia (Hillesheim GmbH 2014: 16). 83
- Kuva 24. Lämpösaatetun näytelinjan asennussuosituksia (Hillesheim GmbH 2014: 17). 84
- Kuva 25. Lämpösaatetun näytelinjan asennussuosituksia (Hillesheim GmbH 2014: 18). 85

TAULUKKOLUETTELO**sivu**

Taulukko 1. NO:n ja O ₃ :n kemiluminesenssikaavio (Eco Physics 2009: 14).	18
Taulukko 2. Hilti CFS-SL -palokatkokauluksien koot (Hilti 2017).	30

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Symbolit

Δp	Paine-ero
E	Fotonin energia
f	Taajuus
h	Planckin vakio
M	Muut molekyylit

Lyhenteet

CH ₄	Metaani
CO	Hiilimonoksidi
CO ₂	Hiilidioksidi
FID	Liekki-ionisaatiodetectori (Flame Ionization Detector)
FSN	Savutusluku (Filter Smoke Number)
FTIR	Fourier-muunnettu infrapunaspektroskopia (Fourier Transform Infrared spectroscopy)
H ₂ O	Vesi
HC	Hiilivedyt
HEPA	Korkeatehoinen hiukkasilmansuodatin (High Efficiency Particulate Air filter)
N ₂ O	Typpioksiduuli
NDIR	Ei-siroava infrapuna (Nondispersive infrared)
NH ₃	Ammoniakki
NO	Typpimonoksidi
NO ₂	Typpidioksidi

NO ₂ ·	Typpidioksidiradikaali
NO _x	Typen oksidit
O ₂	Happi
O ₃	Otsoni
PM	Pienhiukkaset (Particulate Matter)
PN	Hiukkaslukumäärä (Particulate Number)
PTFE	Polytetrafluorieteeni
SCR	Selektiivinen katalyyttinen pelkistys (Selective Catalytic Reduction)
SO ₂	Rikkioksidi
VEBIC	Vaasa Energy Business Innovation Centre

VAASAN YLIOPISTO**Teknillinen tiedekunta**

Tekijä:	Tomas Haapala
Diplomityön nimi:	Moottorilaboratorioiden pakokaasumittausjärjestelmän suunnittelu
Valvoja:	Professori Seppo Niemi
Ohjaaja:	TkT Jukka Kiijärvi
Tutkinto:	Diplomi-insinööri
Yksikkö:	Sähkö- ja energiatekniikan yksikkö
Koulutusohjelma:	Sähkö- ja energiatekniikan koulutusohjelma
Suunta:	Energiatekniikka
Opintojen aloitusvuosi:	2013
Diplomityön valmistumisvuosi:	2017

Sivumäärä: 85

TIIVISTELMÄ

Vaasan yliopistolle rakennetaan uutta moottorilaboratoriota. Moottorilaboratoriossa on kolme erillistä laboratoriota moottoreille tehtäviä tutkimuksia varten. Laboratorioon asennetaan nopeakäyntinen työkonemoottori, keskinopea laivamoottori ja keskinopea yksisylinterinen testimoottori.

Tämän diplomityön tavoitteena oli suunnitella pakokaasumittausjärjestelmä uuteen moottorilaboratorioon. Moottorilaboratorion ensimmäiset moottoreiden koeajot suoritetaan kesällä 2017 ja ensimmäiset mittausajot syksyllä 2017. Pakokaasumittausjärjestelmä muodostuu Vaasan yliopiston Technobothnian mittalaitteistosta, EEPS-hiukkaskokospektrometrin ja Wärtsilästä toimitettavasta SICK-laitekaapista. SICK:n valmistamalla laitekaapilla kyetään mittaamaan jatkuvasti pakokaasun saastekomponentteja. Lisäksi mittausjärjestelmään kuuluu apulaitteita, kuten lämpösaattot näytelinjat.

Tavoitteen saavuttamiseksi tutkittiin mittalaitteiden ohjemateriaaleja, vierailtiin kahden moottorivalmistajan laboratorioissa, tehtiin suunnitelmia ja seurattiin rakennuksen valmistumista paikan päällä. Suunnitelmassa oli huomioitava mittausjärjestelmän ympäristön vaatimukset, näytteeniirto, tiedonkeruu ja asennustapa.

Tuloksena muodostettiin vaihtoehtoja mittauslaitteiden sijoittamiseksi uuteen laboratorioon. Technobothnian mittalaitteisto ja EEPS-hiukkaskokospektrometri siirretään tarpeen mukaan mittauspaikkojen välillä. Laboratorioiden 1 ja 2 mittauksia varten Technobothnian mittalaittekaappi on parasta sijoittaa laboratorion 1 yläkerran laitetilaan. Laboratoriossa 3 mittalaittekaappi kannattaa sijoittaa testisellien ulkopuolelle. SICK-laitekaappi kiinteäksi sijoituspaikaksi suositellaan laboratorion 1 moottoritilaa. EEPS-hiukkaskokospektrometrin näytelinjat rajoittavat spektrometrin sijoituspaikkaa. Tämän vuoksi EEPS-hiukkaskokospektrometri sijoitetaan mittauspisteen mukaan laboratorion 1 tai 2 moottoritilaan. Laboratorion 3 mittauksia varten EEPS-hiukkaskokospektrometri tulee sijoittaa laboratorion 3 yläosaan. Kaikki näytelinjat asennetaan mittalaitteiden paikkojen mukaisesti.

AVAINSANAT: Mittausjärjestelmä, moottorilaboratorio, suunnittelu, pakokaasu

UNIVERSITY OF VAASA**Faculty of Technology**

Author: Tomas Haapala
Topic of the Thesis: Planning of Exhaust Measurement System for Engine Test Laboratories
Supervisor: Professor Seppo Niemi
Instructor: PhD Jukka Kiijärvi
Degree: Master of Science in Technology
Department: Department of Electrical Engineering and Energy Technology
Degree Programme: Degree Programme in Electrical and Energy Engineering
Year of Entering the University: 2013
Year of Completing the Thesis: 2017

Pages: 85

ABSTRACT

A new engine laboratory is being built for University of Vaasa. There are three separated laboratories for engine research. A high speed off-road engine, medium speed marine engine and medium speed single cylinder test engine will be installed in the laboratory.

The aim of this thesis was to plan an exhaust gas measurement system in the new engine laboratory. First test runs of the engines in the engine laboratory will be carried out in summer 2017 and the first measurement runs in fall 2017. The measurement equipment consists of existing emission measurement equipment from Technobothnia in University of Vaasa, SICK emission bench supplied by Wärtsilä and EEPS particle size spectrometer. Emission bench manufactured by SICK can be used to continuously measure exhaust emissions. In addition, the system includes auxiliary devices, such as heated sample lines.

To achieve this goal, the materials for measuring equipment were studied and two relevant laboratories of this field were visited. Plans were made on site as well as following the completion of the building. Environmental needs, sample transfer, data acquisition, and installation methods had to be taken into account during the planning.

Options for placement of the measuring equipment to the new engine laboratory were created as a result. The equipment of Technobothnia and the EEPS are movable between the measurement points. In case of laboratories 1 and 2, the most suitable placement option for the Technobothnia equipment is the equipment room in upstairs of laboratory 1. For the laboratory 3 measurements, the most suitable option is to place the measuring equipment outside the test cells. The recommended fixed location of SICK emission bench is in the engine room of the laboratory 1. The EEPS is recommended to be placed in the engine cell due to the limitation of the sample lines of the device. EEPS must be placed in the same laboratory where the measurements are done. When measuring in laboratory 3 the EEPS must be placed in the upper section of the laboratory. All sample lines are installed according to the final placement of the measuring equipment.

KEYWORDS: Measuring system, engine laboratory, planning, exhaust gas

1 JOHDANTO

Ihmiskunnan aikaansaama kasvihuonekaasujen vapautuminen ilmakehään aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. Ilmaston lämpeneminen on maailmanlaajuinen kriisi, jota pyritään hillitsemään. Merkittävimpänä kasvihuonekaasuna pidetään hiilidioksidia. Kasvihuonekaasuja muodostuu merkittävä määrä fossiilisten polttoaineiden palamisprosesseista, joiden avulla ihmiskunta tuottaa tarvitsemansa energian. (IPCC 2007.) Hiilidioksidin ohella ilmakehään vapautuu muita päästöjä, joille on asetettu päästörajoituksia. Näitä päästöjä ovat muun muassa hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x) ja pienhiukkaset (PM). Edellä mainittuja päästöjä pyritään rajoittamaan, koska niillä on ympäristövaikutuksen ohella vaikutuksia ihmisen terveyteen. (Martyr & Plint 2012: 414.)

Kaikenkokoisia ja -tyyppisiä polttomoottoreita koskevaa lainsäädäntöä on asteittain tiukennettu. Jatkuva säädösten tiukentaminen on kehittänyt tutkimusten analytiikkaa ja testauslaitteita. Päästölainsäädäntö on johtanut siihen, että ajoneuvot muuttuvat monimutkaisiksi ja elektronisesti integroiduiksi. Tämä asettaa korkeita vaatimuksia testaushenkilöstön osaamiselle ja taidoille. (Martyr & Plint 2012: 408.) Lisäksi moottorilaboratorioiden testausjärjestelmien ja -laitteistojen rooli on kasvanut merkittävästi.

Vaasan yliopistoon rakennetaan polttomoottorilaboratorio, joka sijaitsee uudessa Vaasa Energy Business Innovation Center (VEBIC) -rakennuksessa. Moottorilaboratorio muodostuu kolmesta erillisestä laboratoriosta. Joulukuussa 2016 laboratorioon toimitettiin nelisylinterinen keskinopea Wärtsilä 4L20 -dieselmoottori. Moottorin koeajo alkaa kesäkuussa 2017 ja mittausajot aloitetaan syksyllä 2017. Lisäksi moottorilaboratorioon toimitetaan nopeakäyntinen AGCO Power 44 CWA -dieselmoottori ja keskinopea yksisylinterinen testimoottori. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on vertailla mittausjärjestelmän osien sijoitusvaihtoehtoja ja suunnitella moottoreiden pakokaasujen mittauslaitteiston ja näytelinjojen asennus VEBIC:iin. Tutkimuksessa keskitytään nykyisen mittauslaitteiston sijoittamisen suunnitteluun ja mittalaitteiden tarpeiden tutkimiseen. Nykyinen mittauslaitteisto koostuu Technobothnian laitekaapista, AVL Smoke meteristä, SICK-laitekaapista ja EEPS-hiukkaskokospektrometristä. Tutkimuksen ulkopuolelle on rajattu moottoreiden testisykliin vaatimukset ja rajoitukset.

Tämän tutkimuksen kohteena oleva moottorilaboratorio on osa Hercules-2-tutkimus- ja kehitysohjelmaa. Hercules-2-hankkeen tavoitteena on tutkia polttoainejoustavissa moottoreissa vaihtoehtoisia polttoaineita: saatavuutta, ympäristövaikutuksia sekä suorituskykyä. Hankkeessa huomioidaan uusien ja nykyisten alusten eliniän suorituskyky muuttuvassa globaalissa vesiliikenteen toimintaympäristössä. Lisäksi tavoitteena on saavuttaa alusten propulsiovoiman tuotto lähes nollapäästöillä. Hercules-2-projekti on pääosin EU:n rahoittama. (Hercules-2 2017.)

Tämän tutkimuksen luvussa 3 on suunniteltu miten Technobothnian laitekaappi tulisi sijoittaa VEBIC:iin. Luvussa 4 on suunnitelma erillisten mittalaitesikköjen sijoittamista varten. Lisäksi luvussa 4 käsitellään SICK MCS 100E HW -analysaattorin käyttöönottoon liittyviä seikkoja. Analysaattoreiden tiedonkeruuseen ja automaatiojärjestelmään liittämiseen perehdytään luvussa 5. Luvussa 6 esitetään johtopäätökset. Yhteenveto on viimeisessä luvussa 7.

2 MITATTAVAT PÄÄSTÖKOMPONENTIT JA MITTALAITTEET

Tämän tutkimuksen suunnittelussa ja toteutuksessa keskitytään Vaasan yliopiston käytössä oleviin pakokaasumittalaitteisiin. Moottoreiden pakokaasusta mitataan hiukkasia ja kaasumaisia komponentteja. Hiilidioksidi (CO_2), happi (O_2), vesihöyry (H_2O), typpimonoksidi (NO), typpidioksidi (NO_2), hiilivedyt ja pienhiukkaset ovat mitattavan pakokaasun komponentit. Lisäksi pakokaasusta voidaan mitata esimerkiksi metaanin (CH_4), ammoniakkin (NH_3), typpioksiduulin (N_2O) ja rikkidioksidin (SO_2) pitoisuuksia. Pakokaasusta mitataan myös hiukkaslukumäärää (PN).

Mittausjärjestelmään kuuluu olennaisena osana näytekaasuakaasua varten tarvittavat lämpösaatatut näytelinjat. Pakoputken pakokaasuvirrasta otettu näytekaasu kulkee mittauspisteestä mittalaitteille noin $190\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa näytelinjoja pitkin. Hiilivedyt ja pienhiukkaset mitataan kuumasta pakokaasusta, joten näytekaasun korkea lämpötila pitää pystyä säilyttämään. Näytelinjojen avulla mittalaitteet voidaan sijoittaa erilleen laboratorion moottoritilasta. Näytelinjat joudutaan usein viemään seinän tai lattian läpi, johon tarvitaan palokatkon vaatiessa erillinen läpivientikappale.

Mittalaitteiden sijoitusympäristö vaikuttaa mittalaitteiden tarkkuuteen. Muuttuva ympäristön lämpötila heikentää tarkkuutta ja vääristää mittaustuloksia. Tämän vuoksi mittalaitteiden sijoitusympäristö tulisi olla lämpötilaltaan stabiili. Mittalaitteille on asetettu ympäristön lämpötilarajat, jotka ovat lähes kaikilla mittalaitteilla $5\text{ }^\circ\text{C}$ ja $40\text{ }^\circ\text{C}$ välillä. Osalle laitteista on saatavissa laitekohtainen jäähdytysjärjestelmä, joka nostaa ympäristön korkeinta sallittua lämpötilaa noin kymmenellä celsiusasteella. Ympäristön ilmanpaine tulisi olla tasainen ja likimain $1,1\text{ hPa}$. (Siemens 2012: 32, 80; Eco Physics 2009: 11.)

Kondenssiveden vaikutus järjestelmässä tulee huomioida, sillä kondenssivesi vääristää mittaustuloksia. Lisäksi kondenssivesi saattaa tukkia järjestelmän putkistoja ja aiheuttaa vuotoja. Höyryn tiivistyminen pitää huomioida koko näytekaasun reitillä. Siksi laitteistoon kuuluu lähes aina lämmitetty näytteenotin, näytelinjan suodatin, näytekaasun pumppu sekä lämmitetyt näytelinjat. Kyseisten apulaitteiden tarkoitus on pitää kaasun

lämpötila yli pakokaasun kastepisteen, jolloin kaasu ei kondensoidu. (Martyr & Plint 2012: 431.)

Mittalaitteistossa käsitellään kuumia ja haitallisia pakokaasuja sisätiloissa. Tämän vuoksi pakokaasu tulee kanavoida ja poistaa asiallisesti. Moottorimittauksien laitteiden käyttö vaatii taitoa oikeiden tulosten saamiseksi. Tulosten vääristymisen lisäksi mittalaitteiden väärinkäyttö voi vaikuttaa terveyteen sekä turvallisuuteen.

2.1 Technobothnian moottorilaboratorion mittalaitekaappi

Nykyinen Vaasan yliopiston moottorilaboratorio sijaitsee Technobothniassa. Mittausten alkuvaiheessa tutkimuskeskus Technobothnian moottorilaboratoriossa sijaitsevat mittalaitteet siirretään VEBIC:iin. Tässä tutkimuksessa VEBIC:iin siirrettävä Technobothnian mittauslaitteisto käsittää kuvissa 1, 4, 5 ja 6 esitetyt laitteet. Laitteet ovat mittalaitekaappi (kuva 1, sivu 16), hiukkaskokospektrometri (kuva 4, sivu 22), siirrettävä Fourier-muunnettu infrapunaspektroskopia (FTIR) -kaasuanalysointilaitteisto (kuva 5, sivu 24) ja savutusmittari (kuva 6, sivu 25). Kyseisellä laitteistolla voidaan tutkia aiemmin esiteltyjä pakokaasun komponentteja. Technobothnian laboratoriossa mittalaitekaappi on sijoitettu moottorin kanssa samaan tilaan. Muu laitteisto on sijoitettu väliseinän toiselle puolelle erilleen moottoritilasta. Tässä mittalaitekaappi tarkoittaa kuvassa 1 esitettyjen laitteiden kokonaisuutta. Mittalaitekaapin erilliset laitteet on esitelty kappaleissa 2.1.1–2.1.4. Technobothnian mittauslaitteisto on ollut aiemmin tutkimuskäytössä laboratorion nopeakäyntisen AGCO Power 44 CWA -dieselmoottorin pakokaasujen mittauksissa.



Kuva 1. Technobothnian laboratorion pakokaasujen mittalaitekaapin laitteet numeroituna: 1) CLD 822 M h, 2) ohjaussäätimet, 3) VE 7, 4) Ultramat 6, 5) Oxyomat 61, 6) VE 222 ja 7) EC-M.

2.1.1 VE 222, CSS-M ja EC-M

Pakokaasunäytteen käsittelyyn tarkoitetut laitteet palvelevat kaasuanalysaattoreiden tarpeita. Aluksi näytekaasu kulkee esisuodattimen ja uunin kautta kohti laitteita, jotka vaativat kuumaa näytekaasua. Seuraavaksi kaasu voidaan kuivattaa jäähdyttämällä, jolloin kondenssiveden syntymisen mittalaitteissa pyritään estämään.

J.U.M. Engineering on saksalainen kaasuanalysaattoreita valmistava yksityinen yritys, jonka päätuotteina ovat liekki-ionisaatiodektektorit (FID) (J.U.M. 2011). Technobothnian mittauslaitteiston näytekaasu jaetaan J.U.M.:n valmistamalla VE 222 esisuodatin- ja näy-

tevalitsinyksiköllä. Kuvassa 1, VE 222 on laitteiston alin vaalea moduuli. VE 222 on tehokas kaksikanavainen lämmitettävä kaasunäytteen puhdistukseen tarkoitettu näytteenvalitsin ja suodatin. VE 222 mahdollistaa kaasuanalysaattoreiden jatkuvatoimisen mittauksen. Laite sisältää uunin, joka pitää osien lämpötilan stabiilina 190 °C lämpötilassa. Uunin lisäksi laite sisältää pumpun, jonka avulla kaasunäyte voidaan imeä näytelinjaa pitkin noin 12 metrin etäisyydeltä. Pumpun maksimikapasiteetti on 25 l/min. (J.U.M. 2002: 5.) Kuvassa 1 VE 222 on merkitty numerolla 6.

CSS-M ja EC-M ovat saksalaisen M&C TechGroupin valmistamia kaasun jäähdyttimiä. Laitteille tuleva kaasunäyte kuljetetaan pystysuuntaisen jäähdytyslohkon läpi. Lohkon lämpötila on viisi celsiusastetta. Lämpötilan laskun seurauksena kosteus tiivistyy ja kaasunäyte kuivuu. (M&C 2007: 7, 10.) Laitteille tuleva kuuma pakokaasunäyte voidaan esijäähdyttää alaspäin kallistetulla eristämättömällä näytelinjaputkella. CSS-M on kuvassa näkyvän ylimmän numerolla 1 merkityn laitteen yläpuolella ja EC-M on merkittynä numerolla 7 kuvassa 1.

2.1.2 CLD 822 M h -kaasuanalysaattori

CLD 822 M h on sveitsiläisen Eco Physicsin valmistama laite typen oksidien mittaukseen. Analysaattorin toiminta perustuu kemiluminesenssiin, jossa reagoivien aineiden elektronien hetkellisesti virittynyt tila purkautuu näkyvänä valona. Purkautuneen valon energia on

$$E=hf, \tag{1}$$

jossa E on fotonin energia, h on Planckin vakio ja f on säteilyn taajuus. Valon energiaa verrataan virtaavan näytteen kaasun määrään. Reaktiokaaviot on esitetty taulukossa 1. Syntyvä kemiluminesenssisignaali tunnistetaan valosähköisen ilmiön avulla. Osa typpidioksidiradikaaleista ($\text{NO}_2\cdot$) palaa perustilaan säteilemättä, mikä johtuu törmäyksistä muiden molekyylien (M) kanssa. Analysaattorin kaksi reaktiokammiota mahdollistavat yhtäaikaista NO ja NO_x mittauksen. Reaktioiden vaatima otsoni (O_3) muodostetaan laitteen sisältämällä otsonigeneraattorilla, joka muodostaa otsonia muuttuvan sähkökentän avulla ympäröivästä ilmasta. Analysaattori pystyy jatkuvasti mittaamaan kuumasta ja kosteasta

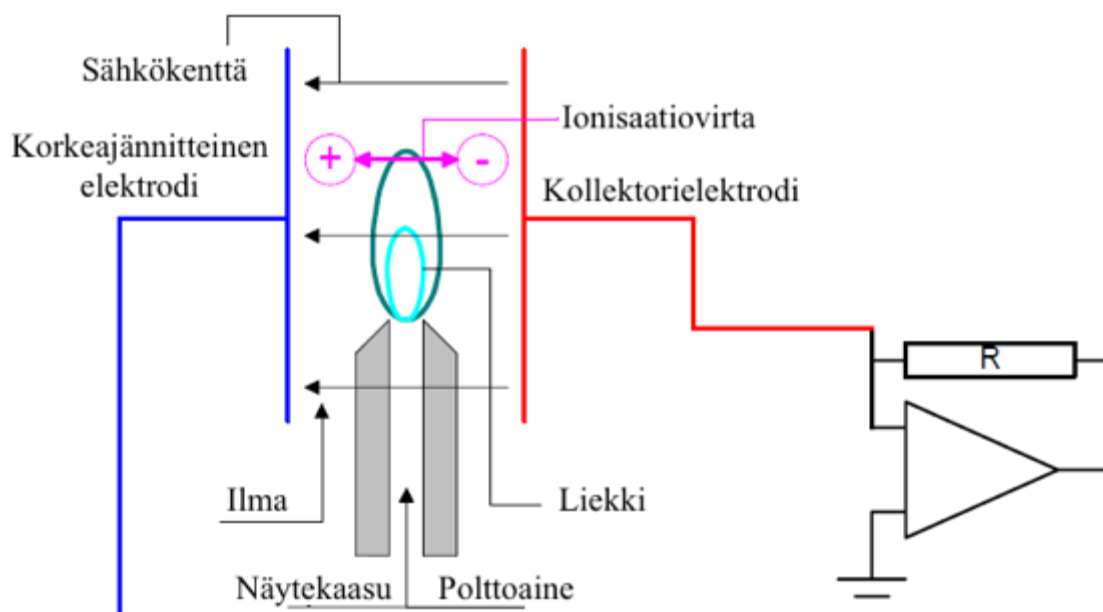
pakokaasusta näytettä jäähdyttämättä. (Eco Physics 2009: 2, 14, 15, 17.) Kun käytetään SCR-järjestelmää (selektiivinen katalyyttinen pelkistys) syntyy ammoniakkaa. Laite ei kestä ammoniakkaa, joten Technobothnian järjestelmässä laitteelle tuleva kaasu virtaa kuivaimen läpi. VE 222 ja kuivain aiheuttavat näytekaasulle ylipaineen, joka ei sovellu CLD 822:lle. Tämän vuoksi kuivaimen läpi virtaa ylimäärin kaasua, josta analysaattori imee ainoastaan tarvitsemansa määrän. (Nilsson 2017a.) Analysaattori tarvitsee näytteen tilavuusvirraksi 0,1 l/min. Kalibrointikaasuna käytetään typpimonoksidia (Eco Physics 2009: 6, 12). Kuvassa 1 CLD 822 M h on merkitty numerolla 1.

Taulukko 1. NO:n ja O₃:n kemiluminesenssikaavio (Eco Physics 2009: 14).

NO + O ₃	->	NO ₂ + O ₂
NO + O ₃	->	NO ₂ · + O ₂
NO ₂ ·	->	NO ₂ + <i>hf</i>
NO ₂ · + M	->	NO ₂ + M

2.1.3 VE7-hiilivetyanalysaattori

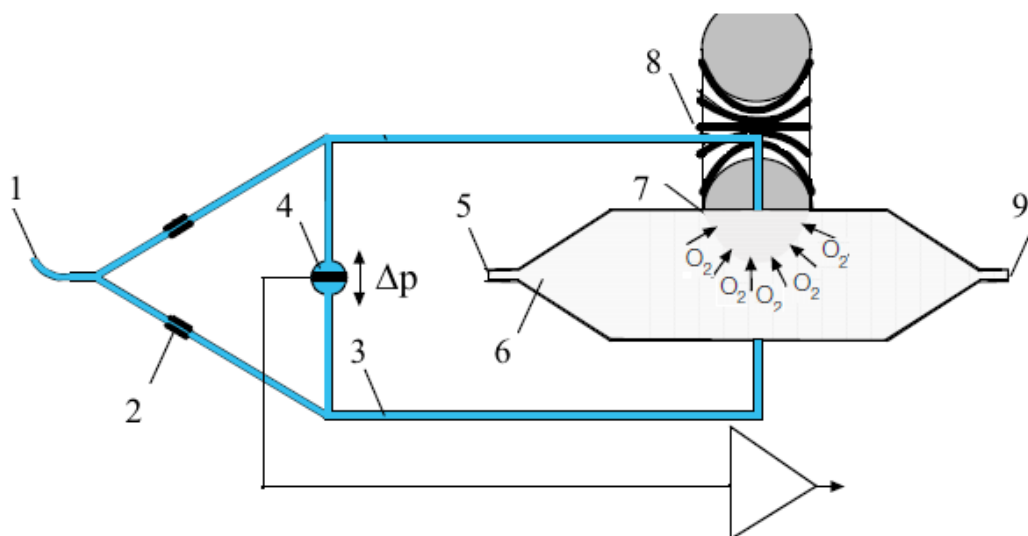
VE7 on J.U.M. Engineeringin valmistama laite hiilivetyjen mittaukseen. VE7:n sisältämä FID vaatii liekin polttoaineeksi puhdasta vetyä tai 40:60 seoksen vetyä ja heliumia. FID:n toiminta perustuu näytekaasun sisältämien hiilivetyjen aikaansaamaan ionisaatioprosessiin. FID:n polttimeen suuttimeen ympärillä olevien elektrodien välille muodostetaan sähkökenttä suuren jännitteen avulla. Negatiiviset ionit siirtyvät kollektorielektrodille ja positiiviset ionit siirtyvät korkeajännitteiselle elektrodille. Ionien liikkeen muodostama virta on suoraan verrannollinen näytteen hiilivetyjen määrään. (J.U.M. 2005: 5.) Periaatekuva analysaattorin toiminnasta on esitetty kuvassa 2. FID tarvitsee näytteen tilavuusvirraksi 2,5 l/min. Näytekaasu syötetään suoraan VE 222:n kautta, sillä hiilivedyt mitataan aina kuumina. FID vaatii polttoainekaasun lisäksi vertailukaasun (esim. propaani) ja nollakaasun (typpi). (J.U.M. 2005: 8, 36.) Laite on merkitty kuvaan 1 numerolla 3.



Kuva 2. VE7-hiilivetyanalysaattorin toimintaa kuvaava periaatekaavio. Mukailtu lähdettä J.U.M. (2005).

2.1.4 Ultramat 6 ja Oxymat 61 -kaasuanalysaattorit

Ultramat ja Oxymat ovat saksalaisen Siemensin valmistamia jatkuvaan CO, CO₂ ja O₂ mittaukseen tarkoitettuja analysaattoreita. Molempien analysaattoreiden näytekaasut kulkevat VE 222:n ja kuivaimen kautta. Technobothnian laboratoriossa Oxymat 61:lla mitataan hapen pitoisuutta, ja referenssikaasuna käytetään typpeä. Analysaattorin toiminta perustuu hapen paramagneettisuuteen. Kaasunäytteen happimolekyylit ajautuvat ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta kohti suurinta magneettikentän voimakkuutta. Analysaattorille syötettävä vertailukaasu jakaantuu kahteen kanavaan. Toinen kanava johtaa suoraan näytekammioon ja toinen magneettikentän läpi. Magneettikentän läpi kulkeva vertailukaasu sekoittuu näytekaasun kanssa voimakkaassa magneettikentässä. Kaasukanavien välille syntyy paine-ero (Δp) erisuuruisten virtausten vuoksi. Kanavien välille syntyneen paine-eron avulla kyetään tutkimaan näytekaasun happipitoisuutta. Oxymatin toiminta-kaavio on esitetty kuvassa 3. (Siemens 2011: 16.) Tarvittava näytekaasun määrä on enimmillään 1,5 l/min (Siemens 2011: 19). Oxymat on merkitty kuvaan 1 numerolla 5.

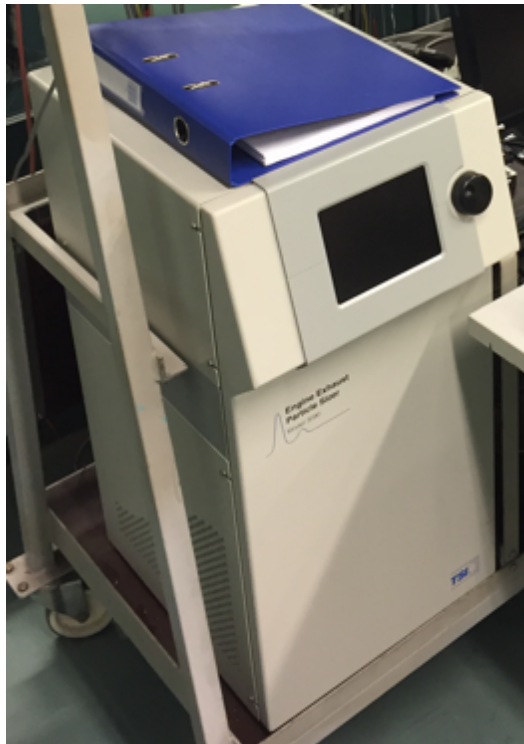


Kuva 3. Oxymat 61:n toimintakaavio. Numeroidut kohdat on esitetty taulukossa 2. Mukailtu lähde Siemens (2011: 16). 1. referenssikaasun sisääntulo, 2. virtauksen rajoittimet, 3. referenssikaasukanavat, 4. paineanturi, 5. kaasunäytteen sisääntulo, 6. näytekammio, 7. paramagneettinen efekti, 8. sähkömagneetti muuttuvalla magneettikentän tiheydellä, 9. näytekaasun ja referenssikaasun ulostulo.

Ultramat 6 mittaa kahta infrapuna-aktiivista kaasua samanaikaisesti. Technobothnian analysaattoria käytetään mittaamaan hiilimonoksidia ja hiilidioksidia. Mittaus perustuu ei-siroavan infrapunasäteen (NDIR) mittaukseen. Toisin sanoen mittaus perustuu kaasujen absorptiokykyyn keski-infrapuna-alueella (2–10 μm). Analysaattorin referenssikaasuna käytetään typpikaasua, joka ei ole infrapuna-aktiivinen. Laitteessa on kaksi kanavaa, joissa virtaa näytekaasu ja referenssikaasu. Säädetty katkonainen infrapunasäde jaetaan lähteestä molemmille kanaville. Referenssikanavan läpi ohjattu säde pysyy absorboitumattomana, kun taas näytekkanavan läpi ohjattu säde absorboituu osittain. Kummankin kanavan säteet kulkevat kaksiosaisen tunnistimien läpi, jotka samalla suodattavat osan säteestä. Tunnistimien jälkeen säteet kulkevat ristiin optisen yhdistimen kautta ja päätyvät vastakkaiselle tunnistimelle. Katkottava säde saa tunnistimien välillä aikaan sähkösignaaliksi muutettavia pulsseja. Pulssien avulla tutkitaan näytteen CO- ja CO₂-pitoisuuksia. Laite vaatii näytekaasua enimmillään 1,5 l/min. (Siemens 2006: 7; Siemens 2012: 8.) Ultramat on merkitty kuvaan 1 numerolla 4.

2.2 EEPS 3090 -hiukkaskokospektrometri ja laimennin

TSI Inc. on maailmanlaajuinen 50 vuotta toiminut mittausteknologiaan keskittynyt yhtiö, joka valmistaa erittäin tarkkoja mittalaitteita yhteistyössä tutkimuslaitosten ja asiakkaiden kanssa (TSI Inc. 2017a). EEPS 3090 on TSI:n valmistama hiukkaskokospektrometri. EEPS 3090:n avulla saavutetaan nopeat mittaustulokset. EEPS 3090:lla voidaan tutkia hiukkaspäästöjä kylmäkäynnistyksessä ja transienteissa sykleissä (TSI Inc. 2017b). Laite ottaa näytettä pakokaasuvirrasta jatkuvasti. Pakokaasunäytteen sisältämät hiukkaset varataan positiivisesti käyttämällä koronapurkauksia. Varautuneet hiukkaset kulkevat kolonniin, jossa vallitsee korkealla jännitteellä muodostettu magneettikenttä. Magneettikenttä siirtää positiivisia hiukkasia niiden sähköisen liikkuvuuden perusteella. Varautuneet hiukkaset osuvat sähköisen liikkuvuutensa mukaan tietyille elektrometreille. Varauksen suuruus ja sähköinen liikkuvuus riippuvat hiukkasen koosta, joten pienimmät hiukkaset osuvat viimeisimpiin elektrometreihin. Osumassa hiukkanen purkaa varauksensa elektrometriin, minkä mukaan pystytään määrittämään hiukkasten määrä ja koko näytteessä. Elektrometriin muodostunut virta on suoraan verrannollinen hiukkasten määrään. (TSI 2016: 5.) Koska mittaus perustuu hiukkasten varauksen mittaamiseen elektrometrin avulla, on mittaus herkkä värinän ja lämpötilan vaikutuksille.



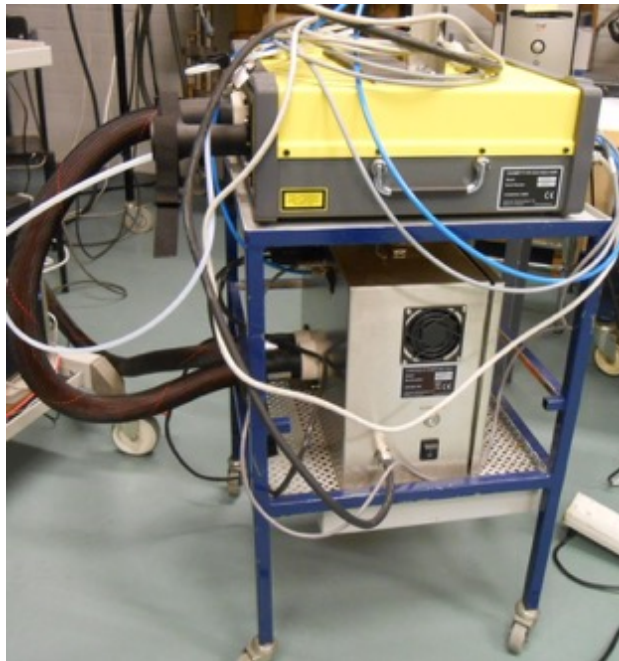
Kuva 4. EEPS 3090 -hiukkaskokospektrometri Technobothnian laboratoriossa.

Hiukkasmittaus vaatii pakokaasunäytteen laimennuksen, joka pitää tehdä mahdollisimman lähellä näytteenottopistettä. Hiukkasmittauksessa tulee huomioida laimentimen ja analysaattorin yhdistävän näytelinjan sähkönjohtavuus. Liikkeestä syntyvän hankaussähkön vuoksi hiukkaset saattavat tarttua kiinni putken seinämiin, mikä vääristää mittaustuloksia. Pakokaasun laimennukseen voidaan käyttää eri menetelmiä. Technobothniassa käytetty laimennin on TSI:n valmistama kiekkolaimennin. Tässä pyörivä rei'itetty kiekko ottaa osan pakokaasusta ja sekoittaa sen laimennusilmaan suhteella 1/60 (Nilsson 2017a). Kyseisellä laimentimella laimennus voidaan suorittaa suhteella 1/15–1/30 000. Laimennusjärjestelmä koostuu kolmesta osasta: laimennuspäästä, näyteputkista ja laimennusyksiköstä. Laimennuspään ansiosta pakokaasu voidaan laimentaa heti mittauspisteellä. Laimennuspää asennetaan lähelle pakoputkea, josta näyte otetaan. Pakokaasu siirretään laimennusyksikköön, jossa pakokaasu sekoitetaan suodatettuun laimennusilmaan. Käytetty laimennusilma suodatetaan korkeatehoisen hiukkasilmansuodattimen (HEPA) avulla. Tällä varmistetaan hiukkasten kokojakauman ja koostumuksen säilyminen sekä asianmukainen mittaustulos. (TSI 2012: 3, TSI 2016: 8.)

Nykyisen laimentimen malli on 379020A, joka koostuu sekä laimenninpäästä että ohjainyksiköstä. Ohjain ja laimennin ovat erillisiä osia, jotka on yhdistetty toisiinsa omalla näytelinjalla. Näiden avulla ohjainyksikön ottama ilma suodatetaan ja siirretään laimentimelle. Laimennettu pakokaasu palaa takaisin laimentimelta ja siirretään edelleen EEPS:iin analysoitavaksi (TSI 2012: 15). Laimenninpään ja ohjausyksikön välinen näytelinja on kolme metriä pitkä, mikä määrittää osaltaan laitteiden sijoitusta. Hiukkasten mittauksessa on tärkeä huomioida sondien tyyppi. Koska hiukkasten koko vaihtelee nanometrin muutamista kymmenyksistä muutamiin satoihin nanometreihin, voi TSI:n (2012) tutkimuksen mukaan vääräntyyppinen sondi aiheuttaa hiukkasten katoamista näytteenotossa. Oman laimentimen ja näytelinjan ansiosta EEPS ei vaadi ulkopuolisia näytelinjoja. Siksi suunnittelussa ei ole tarvetta huomioida ulkopuolisen näytelinjan vaatimuksia.

2.3 Gasmet DX4000 -kaasuanalysaattori

Gasmet Technologies on suomalainen yritys, joka kehittää ja valmistaa kaasuanalysaattoreita sekä seurantalaitteita. Technobothnian liikutettava Gasmet DX4000 -kaasuanalysaattori (kuva 5) kykenee usean pakokaasun komponentin jatkuvaan mittaukseen. Laite mittaa eri komponentteja samanaikaisesti. Kaasujen analysointi perustuu Fourier-muunnettuun infrapunaspektroskopiaan (FTIR). FTIR-menetelmän avulla kyetään mittaamaan näytteen läpi kulkevan infrapunasäteilyn absorptiospektri. Mittauksessa kerätty laajan säteilyalueen raakadata muunnetaan Fourier-muunnoksen avulla helposti luettavaksi spektriksi. Gasmetin näytekaasun tarve on 2–10 l/min ja kalibrointikaasuna käytetään typpeä. (Gasmet 2017.) Gasmetin mukana VEBIC:iin siirretään näytteenotin ja laitteen vaatimat lämmitetyt näytelinjat. Kyseinen laitteisto on helposti siirrettävissä, joten sitä on mahdollista käyttää useissa mittauspisteissä. Laitteella on oma erillinen pumppu näytekaasun virtauksen varmistamiseksi.



Kuva 5. Technobothnian Gasmeter DX4000 -laitteisto.

2.4 AVL 415S -savutusmittari

415S Smoke meter on itävaltalaisen AVL:n valmistava savutusmittari. Smoke meter käyttää tekniikkaa, jossa mitataan suodatinpaperille kerääntyneen noen määrä dieselmoottoreiden ja suoraruiskutteisten bensiinimoottoreiden pakokaasuista. Mahdollisesti muuttuva, mutta tarkasti määritelty näytetilavuus ja näytteen lämpökäsittely mahdollistavat mittausten laajan käyttöalueen. Laitetta käytetään savutusluvun (Filter Smoke Number, FSN) mittaamiseen. Kyseinen arvo mitataan tummuneesta suodatinpaperista, jonka läpi pakokaasunäyte on ohjattu. Laite kykenee mittaamaan paperin tummuuden heijastuneen valon avulla. Laite käsittelee mittausdatan itse. Tämän jälkeen tieto siirretään tietokoneelle, jolla on valmistajan oma ohjelmisto. (Vanhala 2016: 43, AVL 2014: 1–4, AVL 2017.) Ohjelmiston avulla mittauksia on helppo seurata. Technobothnian laitteen mukana VEBIC:iin siirretään Smoke meterille kalibroitu lämmitetty näyttelinja. Technobothnian laboratoriossa laite on asennettu kiinteään seinätelineeseen. VEBIC:ssä mittauspaikat muuttuvat, joten laitteelle pitää rakentaa siirtämistä helpottava runko.



Kuva 6. AVL 415S Smoke meter (AVL 2014: 1).

2.5 SICK-pakokaasumittausjärjestelmä

SICK-pakokaasumittausjärjestelmä koostuu MCS 100E HW- ja EuroFID-analysaattoreista. Analysaattorit on asennettu lasikuituvalmisteisen kaapin sisään. Kyseistä kokoonpanoa kutsutaan tässä tutkimuksessa SICK-laitekaapiksi (emission bench). MCS100E HW on saksalaisen SICK:n valmistama jatkuvaan päästöjen valvontaan suunniteltu infrapunamittaukseen perustuva analysaattori. Laite mittaa kahdeksaa infrapuna-aktiivista kaasun komponenttia. Lisäksi laitteeseen kyetään liittämään erillinen hiilivetyanalysaattori. Hiilivetyanalysaattorina on saman valmistajan EuroFID-analysaattori. Laitteistolla jatkuvasti mitattavia pakokaasun komponentteja ovat HC, CO, NO, NO₂, CO₂, H₂O ja O₂. Laitteisto on hyvin pitkälle automatisoitu. Tämän ansiosta mittauksia pystytään tekemään suurella tarkkuudella. Laite kykenee vaihtamaan näytepisteitä ja puhdistamaan näytelinjat automaattisesti takaisinvirtauksen avulla. Näyte imetään laitteiston omalla pumpulla

sondilta näytelinjan kautta MCS-analysaattorille, josta edelleen EuroFID:lle. (SICK 2017.)

VEBIC:ssä käytettävä versio (kuva 7) toimitetaan Wärtsilältä. Laite on modifioitu laivoilla tehtäviin mittauksiin eli huomattavasti vaativampaan ympäristöön kuin normaali testilaboratorion aputila tai itse laboratorio. Tämän mahdollistaa ilmastointi ja alkuperäisen version ympärille rakennettu lasikuituinen asennuskaappi. Laitekaapin osana toimittava EuroFID ei ole ollut Wärtsilässä käytössä. Analysaattori on todettu toimintavarmaksi vaihtuvilla ja huonolaatuisilla raskailla polttoaineilla. Wärtsilällä ei ole toistaiseksi käyttötarvetta kyseiselle laitekaapille, mutta VEBIC:issä laite pääsee sille soveltuvaan hyötykäyttöön. Modifioimattomia tämän tyyppisiä mittalaitteita käytetään yleisesti jätteenpolttolaitosten päästöjen seurannassa. Laitekaappi apulaitteineen sisältävät kaiken jatkuvaan mittaukseen tarvittavan laitteiston. Apulaitteita ovat paineilmaletkut, puhdistin, signaalijohdot, sähköjohdot ja näytelinja sondeineen. (Kortelainen 2017a.) Wärtsilä on varastoinut analysaattorin, joka toimitetaan VEBIC:iin huhtikuussa 2017.



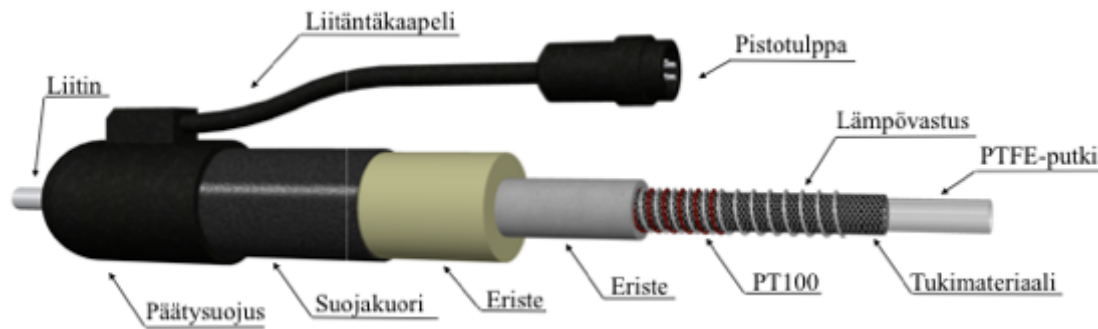
Kuva 7. SICK-laitekaappi varastoituna ennen VEBIC:iin kuljetusta.

MCS 100E HW:n kaasuliitännöille on annettu tietyt vaatimukset käyttöohjekirjassa, minkä mukaan ilman laatu määritellään. Analysaattorin vaatimuksia instrumentti-ilmalle ovat pölytön, öljytön ($< 0,1$ ppm) ja kuiva (kastepiste alle -30 °C) ilma. Analysaattorin instrumentti-ilma voidaan liittää suoraan sisääntulon solenoidiventtiiliin. Instrumentti-ilman vaadittu paine on 3 bar, mikä säädetään paineensäätimellä. Mukana tulevan FID:n polttokaasun painevaatimus on 3 bar (SICK 2005: 33). Laitekaapin puhdistin on tarkoitettu instrumentti-ilman laadun varmistamiseen. Kuitenkin riittävän puhdas paineilma saadaan syöttää laitteelle ilman puhdistinta. Jos instrumentti-ilma otetaan moottorin paineilmajärjestelmästä, tulee huomioida paineen mahdollinen lasku moottoria käynnistäessä. Lisäksi analysaattorin jatkuva instrumentti-ilman saanti tulee varmistaa, vaikka analysaattoria ei käytettäisi mittaukseen. Analysaattori on tarkoitettu jatkuvaan käyttöön, joten laitetta ei tarvitse sammuttaa kokonaan mittausten välillä. Instrumentti-ilma voidaan

kytkeä kiinni suoraan laitekaappiin tai näytteenottimeen. Kummassakin tapauksessa putkinipun ohjaus varmistaa ilman kulkeutumisen tarvittaviin paikkoihin. (Kortelainen 2017a.) Laitekaapin modifioimaton malli on mitoiltaan 2200 x 800 x 600 mm (K x L x S) ja paino on noin 350–500 kg. Modifioitu malli eroaa alkuperäisestä mallista leveydellään, joka kasvaa 800 millimetristä 1450 millimetriin. Kaapin suuri ovi lisää laitekaapin vaatimaa tilaa asennuksessa.

2.6 Näytelinjat ja läpiviennit

Pakokaasunäytteen kuljettamiseksi mittauspisteeltä analysoitsijoille tarvitaan mittausyhteisiin liitettävät näytelinjat. Valmiita näytelinjoja on saatavana useilla erityyppisillä liittimillä (M&C TechGroup 2017) riippuen esimerkiksi mittausyhteen kierteestä tai halutusta halkaisijasta. Pakokaasun siirtoon tarkoitettu näytelinja muodostuu useista komponenteista. Yleinen näytelinjan rakenne on esitetty kuvassa 8. Varsinainen kaasu kuljetetaan näytelinjan sisältämän polytetrafluorieteenistä (PTFE) valmistetun putken sisällä. PTFE-putki on sisähalkaisijaltaan yleensä neljästä kahteentoista millimetriä (Hillesheim GmbH 2014: 88). Korkea lämmönkestävyys ja pieni pinnan kitka tekevät PTFE:stä hyvän materiaalin näytelinjaa varten. PTFE-putken ympärillä on tukevoittava rakenne, lämpövastus, PT100-anturi ja paksu eriste. PT100-anturin toiminta perustuu vastusmittaukseen, jossa resistanssi muuttuu lämpötilan muuttuessa. Vastuksen resistanssi on 100 ohm lämpötilassa 0 °C. Näytelinjojen ohjaussäätimet valitaan näytelinjan tyyppin mukaan. Näytelinjan koko ja materiaali valitaan tarpeen mukaan. Näytteen määrä, laatu ja linjan pituus vaikuttavat näytelinjan valintaan. Näytelinjan PTFE-putken ja teräksisten päätyliittimien mitat ovat yleensä esitetty muodossa sisähalkaisija/ulkohalkaisija. Näytelinjat valmistetaan tarpeen mukaan, joten väärin mitoitettua näytelinjaa ei voida katkaista tai lyhentää.



Kuva 8. Lämpösaatetun näytelinjan yleinen rakenne, johon on merkattu kokonaisuuden muodostavat osat.

Lämpösaatetun näytelinjan toiminta ja lämpötilan säätö perustuvat PT100-anturin keskiarvon mittaukseen. Tämän vuoksi esimerkiksi läpivientejä tehtäessä voidaan tarpeen mukaan käyttää erillisiä läpivientikappaleita tasaisen lämpötilan varmistamiseksi. Lämpötilaa säädetään ohjaussäätimellä, joka liitetään näytelinjaan valmiilla liittimellä. Technobothnian näytelinjoissa käytetään seitsemänpinnistä pyöreää liittintä. Liittimet ovat yhteensopivia nykyisten säätimien kanssa. Suoraan betonin läpi ilman lisäeristettä asennettuun näytelinjaan muodostuu paikallinen jäähtyminen. Paikallisen jäähtymisen vuoksi lämpötilan keskiarvo laskee, joten säädin nostaa lämpötilan korkeammaksi. Tällöin lämpötila on läpiviennin kohdalla liian matala ja muualla liian korkea. Tarpeeksi suuressa lämpötilan muutoksessa muodostuu kondenssivettä. Kondenssivesi vääristää mittaustuloksia ja aiheuttaa tukoksia näytelinjaan. Technobothnian näytelinjat ovat pituudeltaan: Gasmet 3+10 metriä, mittalaitekaappi 10 metriä ja Smoke meter 5 metriä. Gasmetin näytelinja koostuu kahdesta erillisestä osasta, joiden välillä on näytepumppu. Kyseisten näytelinjojen liitosputket ovat ulkohalkaisijaltaan 6 mm.

Joissain laboratorioissa on tarpeellista kuljettaa pakokaasunäyte mittapisteltä seinän tai lattian läpi. Tällaisissa tapauksissa käytetään apuna läpivientikappaleita. Läpivientikappaleet ovat erillisiä kuumennettuja komponentteja tai esimerkiksi suljettavia palokatkokauluksia. Erilliset läpivientikappaleet vaativat näytelinjan jakamisen kahteen osaan. Seinän molemmille puolille tulee tällöin asentaa erilliset näytelinjat. Palokatkokauluksen käyttö mahdollistaa yhtenäisen näytelinjan kuljettamisen mittauspisteeltä mittalaitteille.

Palokatkokaulus on esitetty kuvassa 9. Hiltin palokatkokauluksia käytettäessä tulee huomioida myös näytelinjojen vaatimukset, jolloin ainoastaan yksi näytelinja voidaan tuoda yhden kauluksen kautta. Hiltin palokatkokauluksia on saatavilla kolmea eri kokoa, jotka on esitetty taulukossa 3. Taulukon mukaisesti voidaan määritellä tarvittavat läpivientien koot näytelinjoille. Näytelinjojen ulkohalkaisijat ovat noin 32–42 mm, joten liian tiukan asentamisen välttämiseksi tulee niiden asennuksessa käyttää kokoa M tai L. Kaapelinipujen läpiviennit voidaan toteuttaa käyttämällä kokoa S.

Taulukko 2. Hilti CFS-SL -palokatkokauluksien koot (Hilti 2017).

Malli	Ulkohalkaisija [mm]	Pituus [mm]
CFS-SL S	63	315
CFS-SL M	110	315
CFS-SL L	110	415



Kuva 9. Hiltin valmistama suljettava CFS-SL-palokatkokaulus (Hilti 2017).

2.7 Kalibrointikaasut

Toimiakseen kunnolla pakokaasuanalysaattoreita on kalibroitava säännöllisesti. Kalibrointiin käytetään kaasuja, joiden koostumus on tunnettu. Kalibroinnin periaate on sama kuin minkä tahansa muun anturin eli tarkoitus on asettaa nollapiste. Tässä tapauksessa

nollapiste saavutetaan huuhtelemalla laitteisto puhtaalla typellä. Sen jälkeen 100 %:n arvo asetetaan tunnetun vertailukaasun avulla. Kaasu voi olla esimerkiksi ympäröivää ilmaa tai nollakaasua, joka on laimennettu tiedetyllä suhteella. Koko kalibrointitapahtuma voidaan automatisoida, jos laite kykenee itsenäiseen kalibrointiin. Kalibroinnin ja mittausten jälkeen järjestelmä huuhdellaan aina kalibrointikaasulla tai instrumentti-ilmalla. (Martyr & Plint 2012: 432-433.)

Kalibrointikaasujen lisäksi tarvitaan yleensä toiminnallisia kaasuja, kuten vetyä tai helium-vety-seosta, joita käytetään esimerkiksi FID:n polttoaineena. Kaikki käytetyt kaasut varastoidaan korkeassa paineessa noin 150 ja 200 barin välillä, mistä jakaminen analysaattoreille tapahtuu säätimien kautta noin 4 barin paineeseen. Kaasu jaetaan varastosta yleensä suoraan analysaattoreille erityisen putkiston kautta. Putkiston täytyy olla puhdas, ettei se vaaranna kaasujen koostumusta tai aiheuta paineenlaskua. Kalibrointikaasujen häiriöt voivat aiheuttaa väärentymiä analysaattoreiden mittaustuloksissa. Hyvät kalibrointikaasuputkistot ovat orbitaalihitsattuja ja sähköisesti sisältä hiottuja, jolloin voidaan varmistaa niiden laadukkuus. Kaasun siirtämiseksi säätimiltä analysaattoreille käytetään yleensä teflonputkea. (Martyr & Plint 2012: 432-433.)

VEBIC:n kalibrointikaasuverkosto on jaettu esimerkiksi mahdollisille mittalaitteiden paikoille ja polttoainelaboratorioon. Kaasuvarasto on rakennuksen ulkopuolella oleva erillinen kontti, josta kaasu kuljetetaan putkistojen avulla käyttöpaikoille. Kaikissa käyttöpaikoissa on erilliset paineensäätimet kullekin kaasulle. VEBIC:n paineensäädinyksiköt on toimittanut Teknohaus. Laboratorion 3 kaasupiste on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Laboratorion 3 seinään kiinnitetty kaasupiste, jossa on saatavilla viittä eri kaasua.

Laitteet vaativat kalibrointikaasujen lisäksi instrumentti-ilmaa, jolla pidetään yllä esimerkiksi laitteiden vaatimia puhdistusjärjestelmiä ja näytteenoton toimintaa. Instrumentti-ilma voidaan tuottaa joko erillisellä tarkoitukseen käytettävällä kompressorilla tai samalla kompressorilla, kuin esimerkiksi moottoreille tarkoitettu paineilma. Käytettäessä yhtä isoa kompressoria voidaan tuotettu paineilma jakaa kahteen osaan. Tässä tapauksessa toiseen liitetään puhdistin ja kuivain instrumentti-ilman laadun varmistamiseksi. Kosteaa paineilmaa vaikuttaa kaikkiin mittausjärjestelmän komponentteihin ja tuottaa vääristymiä mittareiden arvoihin (Kortelainen 2017a). Laatu pitää varmistaa ennen laitteille syöttöä, sillä laitteet eivät osaa tunnistaa instrumentti-ilman laadukkuutta. VEBIC:in instrumentti-ilman tuottamiseen on hankittu erillinen kuvan 11 mukainen kompressor. Kyseisen kompressorin paineilman laatu on ISO 8573 -standardin luokan 4 mukainen (ISO 8573-1: 3–4). Kompressorin paineilman ominaisuudet teknisen erittelyn mukaan (IRL-suunnittelu Oy) ovat: kastepiste $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$, öljyn määrä $\leq 5\text{ mg/m}^3$ ja maksimi hiukkaskoko $3\text{ }\mu\text{m}$.



Kuva 11. VEBIC:n ilmakompressorin toimitettuna laboratorion 1 alakertaan.

3 SUUNNITELMA VEBICIIN TECHNOBOTHNIAN LAITTEISTOLLE

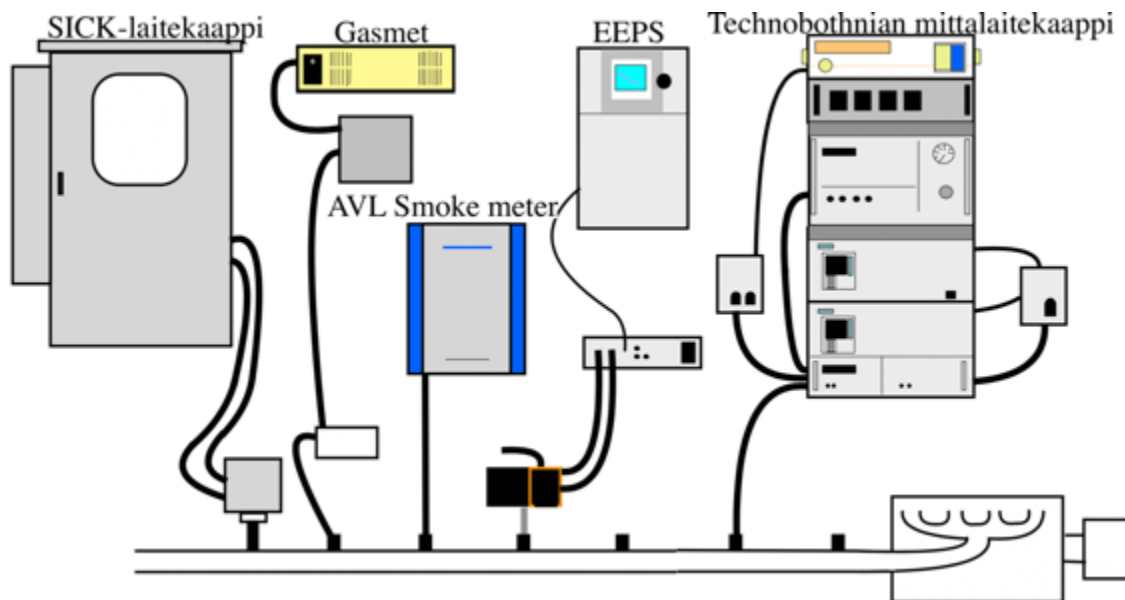
Laitteiden sijoittelun suunnittelun tueksi vierailtiin moottorilaboratorioissa AGCO Powerilla Nokian Linnavuorella ja Wärtsilä Finlandilla Vaasan Vaskiluodossa. Moottorilaboratorioiden rakenne oli vastaava kuin VEBIC:ssä. Moottorit olivat sijoitettuna testiselliin erilleen valvomotiloista, ja pääosa laitteista oli sijoitettu omaan tilaansa. Molemmissa laboratorioissa osa huipputeknologiaa olevista mittalaitteista oli sijoitettu valvomotilojen takaosaan helpon saatavuuden vuoksi. Molempien yritysten moottorilaboratoriot ovat pitkän käyttökokemuksen ja ammattitaidon muokkaamia toimivia kokonaisuuksia.

Mittalaittejärjestelmien suunnittelu lähtee liikkeelle tarpeista eli halutuista mitattavista pakokaasun komponenteista. Mittauslaitteisto määritellään pakokaasun komponenttien ja mittaustarkkuuden mukaan. Valitun mittauslaitteiston sijoituspaikan mukaan mittalaitteistoa palvelemaan suunnitellaan näyttelinjat ja apulaitteet. Tässä tapauksessa mittauslaitteisto koostuu kappaleessa kaksi mainituista analysaattoreista. Mittausjärjestelmän kokoonpanon kaaviokuvat on esitetty kuvissa 12 ja 13. Kuvien laitteiston lisäksi tietojärjestelmä- ja sähköliitännät tulee huomioida asennuksessa.

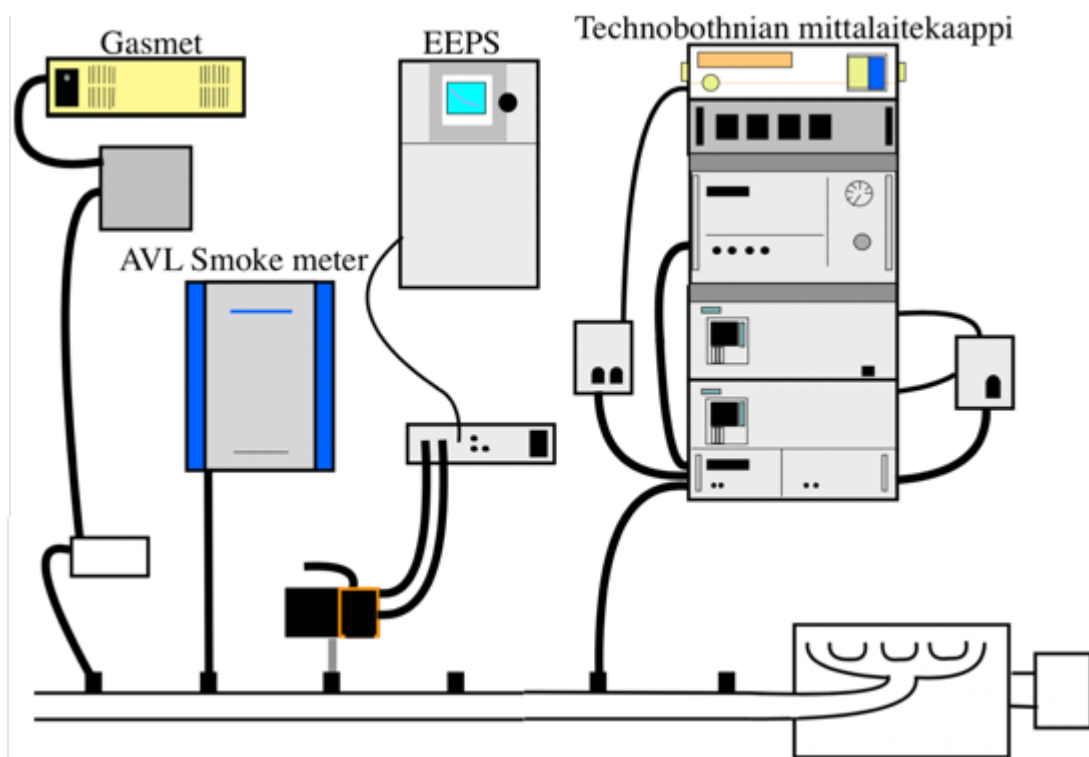
Pakokaasumittausjärjestelmien yksi pääkohta on pakokaasunäytelinjojen reititys näytteenottopisteeltä mittalaitteelle. Näytelinjojen asennuksessa tulee huomioida reitti ja mahdollisten apulaitteiden tarve. Apulaitteiden tarve asennuksessa määräytyy näytelinjan pituuden ja reitin mukaan. Näytelinjojen reitityksen haasteita ovat pitkät etäisyydet ja läpiviennit seinästä tai lattiasta. Lisäksi tulee huomioida, että suurin osa mitattavista kaasun komponenteista mitataan kuumasta kaasusta. Tämän vuoksi näytelinjojen tulee olla lämmitettyjä.

Pakokaasumittaukseen on saatavilla valmiita kaupallisia järjestelmiä, jotka sisältävät kaikkien pakokaasun komponenttien analysaattorit samassa kaapissa. Merkittävimpiä mittausjärjestelmien toimittajia ovat Horiba ja AVL. Valmiiden järjestelmien etuna on suunnittelun ja sijoittelun yksinkertaisuus, mutta huonona puolena järjestelmien korkea hinta. Valmiin mittausjärjestelmän hankinta yhdeltä toimittajalta helpottaa järjestelmän

ylläpitoa ja seuranta. Lisäksi yhtenäisen järjestelmän tiedonkeruu on helppo toteuttaa laitteidenvälisen kommunikoinnin ansiosta. (Nyman 2017.)



Kuva 12. Moottoreiden pakokaasumittausjärjestelmän kaaviokuva laboratorioihin 1 ja 2.



Kuva 13. Moottoreiden pakokaasumittausjärjestelmän kaaviokuva laboratorioon 3.

Moottorilaboratorio 1 on rakennusvaiheeltaan edellä muita laboratorioita. Pakoputken kannattimien rakentaminen aloitettiin pian moottorin toimituksen jälkeen. Pakoputken asennus aloitettiin helmikuun alussa, jota ennen pakoputken piirustuksiin lisättiin mittausyhteet pakokaasunäytteiden ottamiseksi. Pakoputken suunnittelu- ja asennusvaiheessa ei ollut suunnitelmia pakokaasumittausjärjestelmästä. Tämän vuoksi pakoputkeen lisättiin aluksi SICK-laitekaapin näytepisteen lisäksi kuusi hitsattavaa muhvia 0,2 metrin välein. Muhveista kolme on kooltaan R3/8” ja kolme R1/2” BSPT-kierteellä (Anttila 2017). Pakoputken ympärille asennettavan eristeen vuoksi mittausyhteet on helpompi lisätä ennen asennusta. Eristeen asennuksen jälkeen eriste täytyy purkaa mittausyhteiden lisäämiseksi.

Laboratorioon 1 on toimitettu Wärtsilän keskinopea W4L20-dieselmoottori generaattoreineen. Tämän moottorin pakokaasumittaukseen käytetään kaikkia tässä työssä esiteltyjä laitteita. Laboratorion 1 vieressä on laboratorio 2, johon toimitetaan yksisylinterinen testimoottori vuonna 2018. Moottorin pakoputki suunnitellaan toimituksen yhteydessä. Mittauslaitteisto tulee olemaan sama kuin laboratoriossa 1, joten mittausyhteet ovat vastaavat.

Laboratorio 3 muodostuu kahdesta erillisestä testisellistä: sellistä 3.1 ja 3.2. Selliin 3.1 voidaan sijoittaa kolme moottoria. Sellissä 3.2 on paikka Technobothnian laboratorion AGCO Power 44 CWA -dieselmoottorille. Laboratoriossa 3 ei ole erillistä valvomotilaa, joten laitteisto sijoitetaan testisellien ulkopuolelle. Testisellien korkeus on 3,5 metriä ja sellien välikaton päällä on kiinteästi asennetut pakoputket. Kuva 17 (sivu 45) on otettu laboratorion 3 yläosasta, jossa näkyy asennetut pakoputket.

3.1 Näytelinjojen tarpeet ja reititys

Mittausyhteessä näytelinjojen kiinnityksen lisäksi tulee huomioida sondin tarve mitattavan kaasun ottamiseksi. Paremman tuloksen saamiseksi kaasu tulee ottaa syvemmmältä kuin pakoputken reunalta. Pakoputken sisällä kulkeva kaasu käyttäytyy mahdollisesti eri tavalla putken keskiosassa kuin reunoilla, joten kaasun koostumus voi vaihdella. Sondeja

on käyttötarkoituksesta riippuen eri muotoisia. Usein voidaan käyttää suoraa putkea, jolla näyte otetaan keskeltä pakokaasuvirtausta. Aiemmin Technobothnian moottorilaboratoriossa näytelinjojen kiinnitys ja sondien asennus on toteutettu erillisen putken ja Swagelok-liittimien avulla. Pakoputkessa olevaan muhviin on kiinnitetty noin 100 mm pitkä ja halkaisijaltaan 8 millimetrinen sondi Swagelok-jatkoliittimellä. Tällöin sondin toinen pää on pakoputken sisällä ja toinen pää jää ulos Swagelok-liittimestä. Putken vapaa pää on kiinnitetty näytelinjan päässä olevaan teräsputkeen toisella Swagelok-jatkoliittimellä. Tällä tavalla toteutettuna saavutetaan hyvä kestävyys ja helppo muokattavuus. (Nilsson 2017b.) Kyseinen ratkaisu on todettu toimivaksi, joten kiinnitykset VEBIC:ssä voidaan toteuttaa samalla tavalla.

Näytelinjojen suunnittelussa tulee huomioida näytelinjojen mutkien minimisäteet PTFE-letkun vaurioitumisen estämiseksi. Näytelinjojen vaatimukset muuttuvat yleensä suhteessa näytelinjan paksuuteen ja niiden sisältämiin komponentteihin. Asennuksessa kiinteille signaali- ja voimakapeleille suositellaan taivutussäteeltään vähintään 15 kertaa ulkohalkaisijan arvo. Liikkuville kapeleille 10 kertaa ulkohalkaisijan arvo. Näitä arvoja voidaan soveltaa näytelinjojen asennuksessa. (Martyr & Plint 2012: 103.) Näytelinjojen todellinen taivutussäde määräytyy kuitenkin valmistajan ilmoittaman arvon mukaan. 6–8 mm PTFE-putkella varustettuna taivutussäde vaihtelee noin 200 ja 300 mm välillä (SICK 2000: 7; Hillesheim GmbH 2014: 22, 28). Näytelinjojen asennustavalle on esitetty lisäksi muita vaatimuksia ja suosituksia, jotka on esitetty liitteessä 1 sivuilla 83–85.

Näytelinjojen suositeltu asennustapa on pelkästään nouseva/laskeva tai kerran nouseva ja kerran laskeva (Kangas 2017a). Sen sijaan lämmitettyjen linjojen on todettu estävän kondensoituminen niin hyvin, ettei kondensoitumisen vaaraa ole, vaikka näytelinja nousisi ja laskisi useita kertoja reitillään (Nyman 2017). Näytelinjojen asennuksessa tulee huomioida niiden vaatimukset asennuspaikan ja -tavan suhteen. Asennus suljettuun tai ahtaaseen tilaan saattaa aiheuttaa huomattavaa lämmön nousua, joka vaurioittaa näytelinjaa. Toisaalta asennus esimerkiksi betoniseinän läpi jäähdyttää näytelinjaa, joka mahdollisesti aiheuttaa kondensoitumista. Asennuksessa on tärkeää, etteivät näytelinjat kosketa toisiinsa tai joudu puristukseen milteen alueelta. Tämä tulee varmistaa riittäväillä etäisyyksillä

linjojen ja rakenteiden välillä. Seinien läpiviennissä tulee varmistaa, että reikä on tarpeeksi iso, eikä sitä saa täyttää vaahdolla tai massalla. (SICK 2000: 10.)

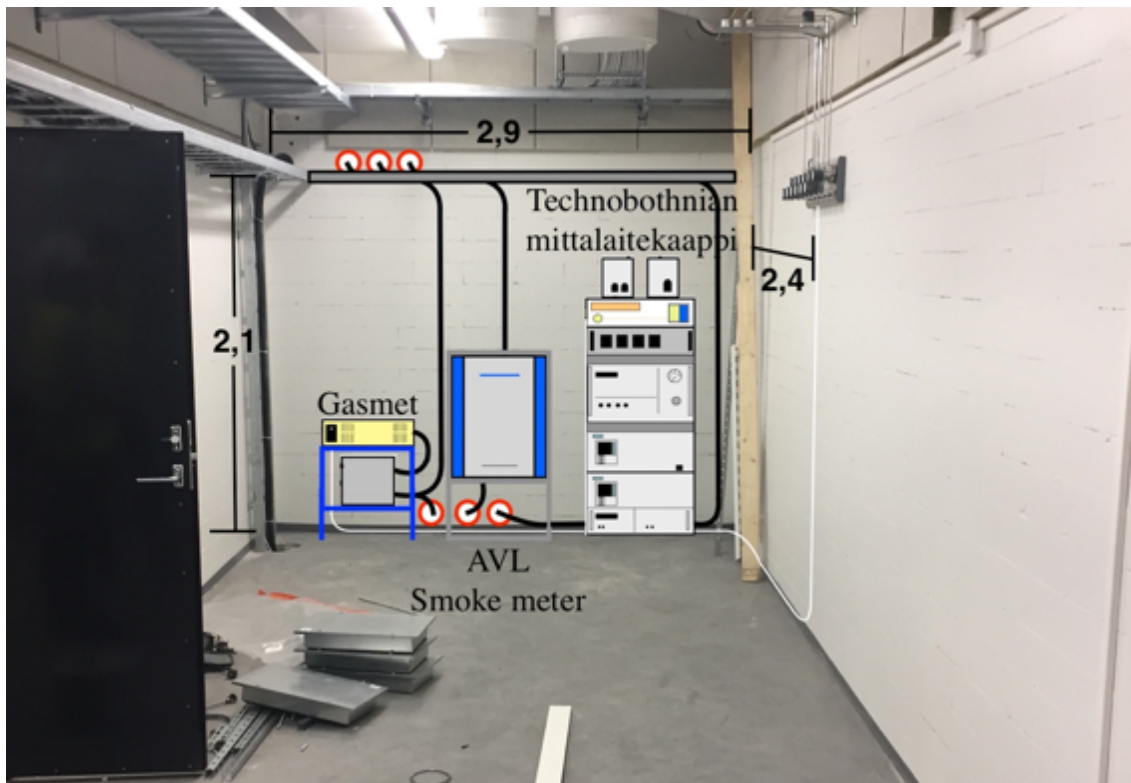
VEBIC:n tapauksessa näytelinjojen läpiviennit seinistä tai lattiasta ovat välttämättömiä. Mutta analysaattorin käyttöohjeiden noudattamisen lisäksi tulee huomioida palokatko, joka kuuluu rakennuksen vaatimuksiin. Tiivistämättömistä rei'istä pääsee läpi melua, joka vaikuttaa asennukseen tietyissä tiloissa. Esimerkiksi laboratoriossa 3 valvomotila on suoraan laboratorion seinän toisella puolella. Jos laboratoriossa 3 täytyy tehdä läpivientejä, joudutaan käyttämään tarkoitukseen valmistettuja kiinteitä läpivientejä. Tämä johtuu siitä, että esimerkiksi Hiltin palokatkokaulusten äänen eristävyyttä ei ole testattu. Varsinaiset ilmaäänät eivät mene tuotteesta suoraan läpi, mutta eristävyydestä ei voida olla varmoja ilman kokeita (Hilti Asiakaspalvelu 2017). Laboratorion 1 ja 2 tapauksessa äänen eristävyydellä aputilan ja laboratorion välillä ei ole merkitystä. Aputila ei ole varsinainen oleskelutila, ja valvomo on äänieristetty muista tiloista.

Näytelinjojen avulla analysaattoreille tuotu kaasu tulee mittausten jälkeen toimittaa pois aputilasta. Tämän vuoksi kaasuille pitää tehdä oma reitti ilmanvaihtoon, takaisin pakoputkeen tai samaan tilaan, jossa moottori on. Helppo tapa toteuttaa kaasun poisto on huoneen ilmanvaihdon kautta ulkoilmaan, mutta tässä tapauksessa tulisi olla varma, että kaasut poistuvat ulkoilmaan. Varmin ratkaisu olisi viedä kaasu takaisin pakoputkeen, jolloin järjestelmästä ei poistuisi kaasua muuta kuin sille tarkoitetun väylän eli pakoputken kautta. Pakoputken kautta poistaessa muodostuu tarve pumpulle, sillä pakoputkessa vallitseva paine on suurempi kuin palautettavan kaasun paine. Yksinkertaisin toteutustapa on palauttaa mitattu kaasu aputilasta letkulla seinän läpi moottoritilaan, jossa on huomattavan suuri ilmanvaihto. Kaasun poistossa tulee lisäksi huomioida kuumien kaasujen mittauksen jälkeen tapahtuva jäähtyminen ja kondenssiveden syntyminen. Tämän vuoksi mittalaitteilta poistuvien kaasuletkujen tulee olla laskevia joko poistopisteelle saakka, tai kondenssiveden keräämiseen tarkoitettuun astiaan saakka (SICK 2005: 31). Astialta edelleen jatkavan kuivan kaasun poistoletkun asennolla ei ole merkitystä (Kangas 2017a; Nyman 2017). Jos kondenssivesi kerätään astiaan, tulee huomioida astian tyhjennys tarpeen vaatiessa. Mitatun kaasun voi poistaa lämmitettyjen linojen avulla kondensoitumisen välttämiseksi, mutta tämä on taloudellisesti huonoin ratkaisu.

3.2 Mittalaitteet laboratorioissa 1 ja 2

Kuvassa 12 (sivu 35) esitetyt mittalaitteet (pl. SICK-laitekaappi) ovat siirrettäviä ja tulevat käyttöön jokaiseen VEBIC:n moottorilaboratorioon. Siirtämisen helpottamiseksi laitteille voidaan rakentaa telineet, joihin asennetaan renkaat. Jokainen mittalaite voidaan kiinnittää telineeseen, ja kokonaisuutta on helppo siirtää tarvittaessa. Laboratorioissa 1 ja 2 mittalaitteet voidaan sijoittaa joko laboratorion 1 tai laboratorion 2 aputilaan. Molemmissa aputiloissa on saatavilla kalibrointikaasut ja sähköliitäntä mittauksia varten. Laboratorion 2 aputila on laboratorion takana, joten mittalaitteet ovat helposti saatavilla. Laboratorion 1 aputila on valvomon vieressä, joten laitteiden saatavuus on edelleen hyvä.

Laitteiden siirtäminen muodostaa aina riskin laitteen rikkoutumiselle. Tämän vuoksi laitteiden sijoitus yhteen paikkaan on paras vaihtoehto, mutta ongelmaksi muodostuu etäisyys eri mittapisteiltä. Koska laboratoriot 1 ja 2 ovat vierekkäin, mittalaitteisto kyetään sijoittamaan toisen laboratorion aputilaan. Tällöin vältetään osittain laitteiston siirtämiseltä, jos mittapiste vaihtuu. Mittalaitteiston kannalta tilan valinnalla ei ole merkitystä, sillä kummankin aputilan huoneilma, kalibrointikaasupiste ja sähköliitännät ovat samantlaisia. Kuvassa 14 on esitetty laitteiden sijoituspaikka laboratorion 1 aputilaan. Aputiloissa laitteiston paikkaa voidaan vaihtaa, sillä asennus ei ole kiinteä.



Kuva 14. Kuva moottorilaboratorion 1 aputilasta, mihin on esitetty mahdollinen laitteiden sijoitus. Kuvassa näkyvän takaseinän takana on laboratoriotila. Vasemmalla näkyvä ovi vie valvomoon.

Sijoituksessa tulee lisäksi huomioida mittalaitteiden huollettavuus. Kummassakin aputilassa laitteet ovat helposti saatavilla ennen mittauksia ja mittausten aikana. Lisäksi molemmissa aputiloissa on huomattavasti vapaata työskentelytilaa huoltoa ja tarkastusta varten. Kuvassa 14 esitetty aputila on noin 2,9 metriä leveä ja 2,1 metriä korkea. Etäisyys kalibrointikaasupisteeltä takaseinälle on noin 2,4 metriä.

3.3 Pakokaasunäytelinjat laboratorioissa 1 ja 2

Pakokaasumittauksiin aputilaan sijoitetulle laitteille tarvitaan kolme näytelinjaa laboratorioita 1 ja 2 varten. Etäisyys näytteenottopisteeltä aputilaan on suoraan mitattuna muutamia metrejä. Näytelinjojen vaatimusten ja ominaisuuksien vuoksi näytelinjojen tulee olla pidempiä kuin suoraan mitattu pituus. Nykyisten näytelinjojen pituus saattaa rajoittaa mittalaitteiden sijoitusta aputiloissa. Laboratorion 1 aputila on valvomon vieressä, joten

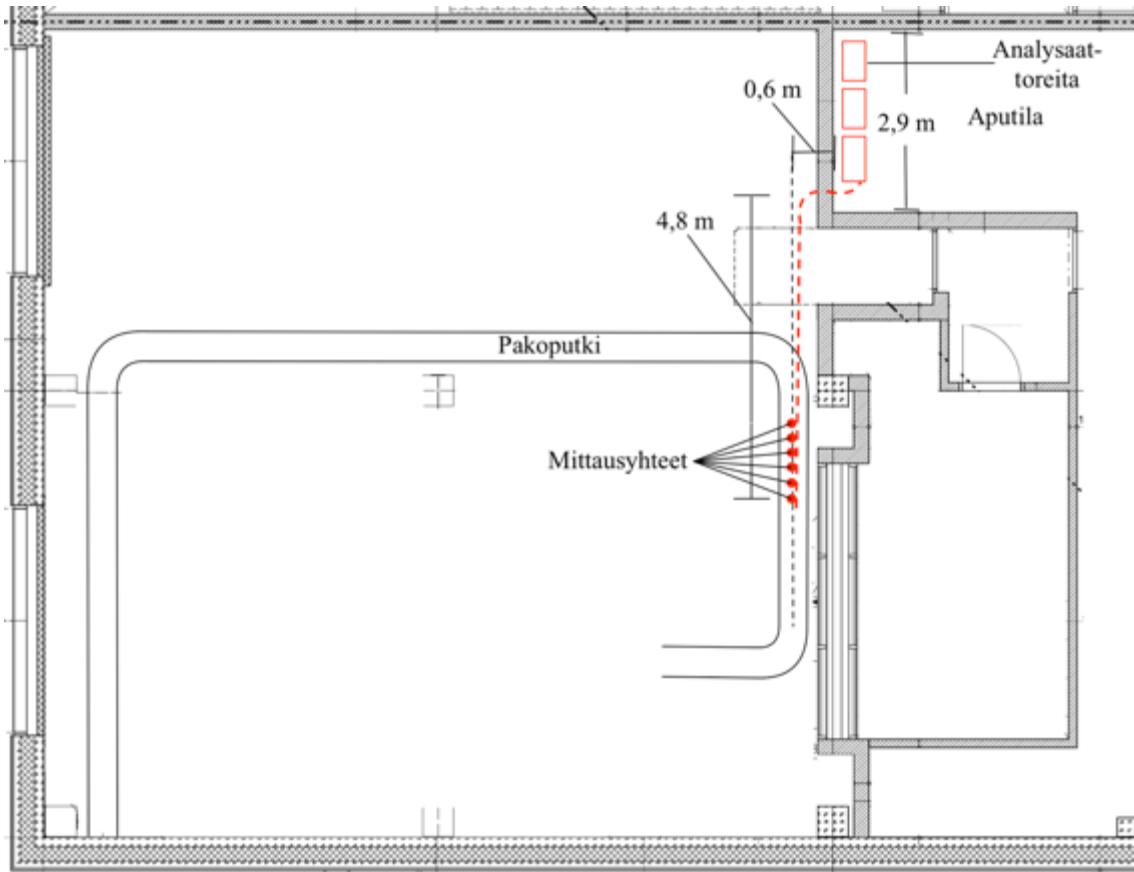
etäisyys mittapisteeä on huomattavasti lyhyempi kuin vastaava etäisyys laboratoriossa 2. Laboratorion 2 aputila on valvomon takana, joten näytelinjojen tulee olla pidempiä kuin laboratoriossa 1. Tämän vuoksi mittalaitteiden sijoitus laboratorion 1 aputilaan molempien laboratorion mittauksia varten on paras vaihtoehto.

Laboratoriosta aputilaan tehtävät läpiviennit vaikeuttavat näytelinjojen reititystä. Aputilan seinän paksuus laboratorioon on 240 mm ja lattian paksuus likimain 900 mm. Läpivientikappaleiden hinta riippuu kappaleen pituudesta. Läpivientien paikat saattavat rajoittaa mittalaitteiden sijoitusta. Laboratorion pakoputken kuusi mittausyhdettä on asennettu 0,2 metrin välein.

Kuvassa 15 on esitetty laboratorion 1 yksinkertaistettu pohjakuva ja pakoputken sijainti. Lyhimmillään näytelinjan pituus lähimmältä mittausyhteeltä aputilan lähimmälle analyysattorille on noin 6 metriä. Pituudessa on huomioitu likimain metrin nousu mittausyhteen tasolta mittalaitteelle. Matka kauimmaiselta mittausyhteeltä kauimmaiselle analyysattorille on noin 9,5 metriä. Kuvassa 14 on esitetty kaksi vaihtoehtoa näytelinjojen läpivienneille. Kankaan (2017a) mukaan suositellaan näytelinjan tuomista laitteille niiden yläpuolelta. Mutta toisaalta pakokaasulinjoja ei suositella asennettavaksi siten, että syntyy jyrkkiä nousuja ja laskuja (Nilsson 2017b). Tässä tapauksessa mittausyhteet ovat analyysattoreiden alapuolella, joten yläkautta tehty läpivienti ei ole edukas. Näytelinjojen korkean lämpötilan ansiosta läpivienti voidaan tehdä seinän alareunaan ilman kondensoitumisen vaaraa. Läpivienti seinän alareunassa mahdollistaa lyhyemmän näytelinjan käytön. Lyhyen näytelinjan etuna on nopea näytteen siirtoaika, jolloin näytteen koostumus pysyy lähes muuttumattomana. Tässä laboratoriossa lyhyen etäisyyden vuoksi yksi yhtenäinen näytelinja mittalaitetta kohti riittää.

Yhtenäisiä näytelinjoja käytettäessä läpiviennit voidaan toteuttaa esimerkiksi palokatko-kauluksilla. Lisäksi tulee huomioida mitatun pakokaasun palautus laboratoriotilaan. Palautus voidaan toteuttaa erillisellä kondenssiveden keräysastialla, josta kaasu johdetaan edelleen laboratorioon. Palautusputken läpivientinä voidaan käyttää esimerkiksi sähköjohdoille tarkoitettua läpivientä. Laboratorion 1 mittaukseen joudutaan hankkimaan uusi

näytelinja Smoke meterille. Smoke meterin oma näytelinja on viisi metriä pitkä, kun etäisyys lyhimmillään on likimain 6 metriä. Uusi näytelinja tulee kalibroida laitteelle sopivaksi (Nilsson 2017b).



Kuva 15. Laboratorion 1 yksinkertaistettu pohjakuva ja pakoputki. Punainen katkoviiva kuvaa näytelinjojen reittiä.

Laboratoriosta 2 laboratorion 1 aputilaan näytelinjojen pituus on lyhimmillään noin 11 metriä. Näytelinjojen pituus riippuu laboratorion 2 pakoputkesta ja mittausyhteiden paikasta. Näytelinjojen reitti laboratorion 2 laboratorion 1 aputilaan voidaan toteuttaa kahdella tavalla. Näytelinjalle voidaan tehdä läpivienti ensin laboratorion 1 moottoritilaan, josta edelleen aputilaan. Tässä tapauksessa jokainen näytelinja vaatii kaksi läpivientä. Toisena vaihtoehtona on tehdä läpivienti laboratorion 2 moottoritilan portaiden yläosassa olevan oviaukon seinään. Tällä tavalla näytelinjalle riittää yksi läpivienti mittalaitteille. Huonona puolena tässä ratkaisussa on lisääntyvä näytelinjan pituus, koska näytelinja pitäisi reitittää oviaukon yläreunan kautta. Lisää pituutta reitille kertyy noin viisi metriä.

Yhtä läpivientä käytettäessä läpivienti tulee kuvassa 14 (sivu 40) näkyvälle oikealle seinälle.

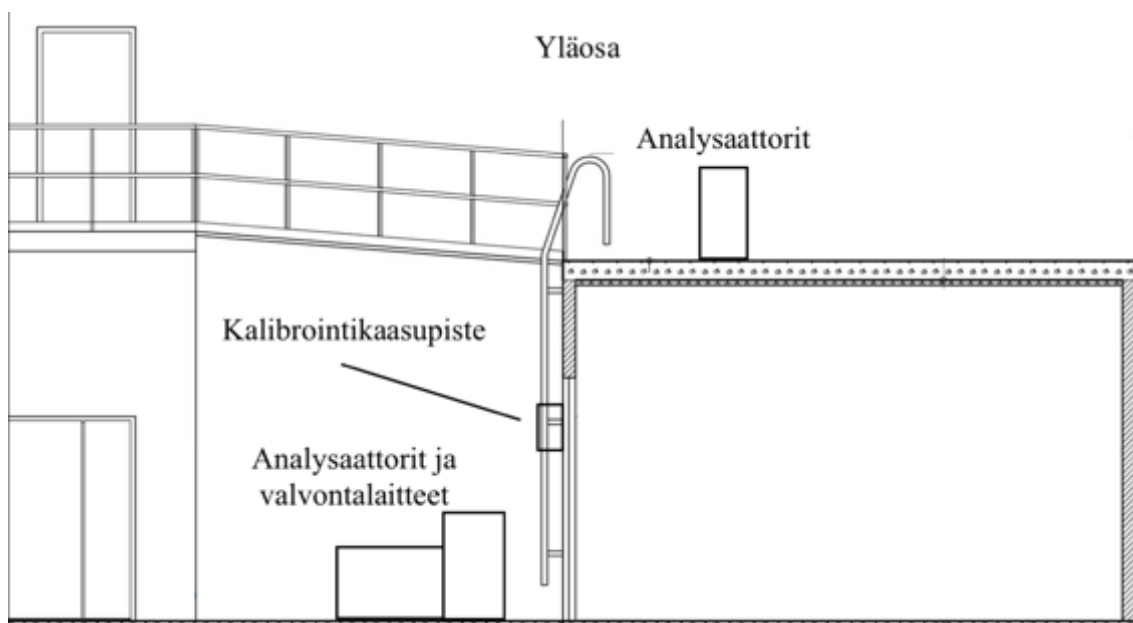
Jos mittauksissa käytetään nykyisiä näytelinjoja, tulee huomioida niiden siirrettävyys ja yhtenäisyys: näytelinjojen tulee olla irrotettavissa läpivienneistä, eikä näytelinjoja voida katkaista. Läpiviennin apuna tulee käyttää palokatkokaulusta edellä mainittujen vaatimusten vuoksi. Jos näytelinjat asennetaan kiinteästi, kumpaankin laboratorioon tulee hankkia omat näytelinjat. Jos mittauspistettä vaihdetaan, kiinteä asennus vaatii käytettävän näytelinjan vaihdon mittalaitteilla. Vaihto voidaan toteuttaa muuttamalla näytelinjan kiinnitystä tai vaihtamalla esimerkiksi kolmitieventtiilillä. Technobothnian mittalaittekaappi tukee kahta näytelinjaa ilman erillistä venttiiliä, sillä käytettävä näytelinja voidaan valita VE 222 -pumpulla (Nilsson 2017a).

W4L20-moottorin pakoputken piirustuksissa on huomioitu varaus jälkikäsittelylaitteelle. Jälkikäsittelylaitteen paikka on noin 11 metriä ensimmäisiltä mittausyhteiltä. Jälkikäsittelylaitteiden hankinnan jälkeen mittausyhteitä lisätään pakoputkeen laitteiston jälkeiselle osalle. Riippuen lisättävien mittausyhteiden paikasta, näytelinjan vaadittava pituus kasvaa noin kymmenellä metrillä. Jälkikäsittelylaitteita koskevia mittauksia varten joudutaan hankkimaan uusia näytelinjoja. VE 222 -pumppu kykenee imemään näytteen 20 metriä pitkän näytelinjan kautta. 20 metrin ylittyessä näytelinjojen väliin tulee asentaa ylimääräinen näytepumppu. Näytepumpun avulla näyte saadaan häviöttä ja sujuvasti kuljetettua mittalaitteille. Näytepumppuna voidaan käyttää esimerkiksi VE 222:n valmistajan valmistamia 2818D, 2812D-HT tai 2825PD-mallisia pumppuja.

Näytelinjojen kiinnityksessä valituilla reiteillä voidaan mahdollisesti käyttää avuksi pakoputken huoltotasoja. Näytelinjojen asentamisen avuksi voidaan asentaa kaapelihyllyjä, tai käyttää aiemmin asennettuja kaapelihyllyjä. Paras vaihtoehto on olla kiinnittämättä näytelinjoja mihinkään, jolloin niihin kohdistuu vähiten rasitusta. Kaapelihyllyn asennuspaikasta riippuen voidaan käyttää esimerkiksi levyhyllyä, lankahyllyä tai tikashyllyä. Näytelinjojen siirtäminen eri mittapisteen välillä pakoputkessa voidaan toteuttaa asentamalla ensimmäisen näytepisteen kohdalle venttiili. Venttiilistä valitaan näytteenotto-paikka mittaustarpeiden mukaan.

3.4 Mittalaitteet ja näytelinjat laboratoriossa 3

Moottorilaboratorio 3 on nopeakäyntisten moottoreiden testaukseen rakennettu kahdesta sellistä muodostuva kokonaisuus. Laboratorion tilat sopivat nopeakäyntisille työkonemoottoreille tai sitä pienemmille moottoreille. Laboratorio 3 muodostuu kahdesta erillisestä testisellistä: testisellistä 3.1 ja 3.2. Testisellissä 3.1 on paikka kolmelle moottorille ja testisellissä 3.2 on paikka yhdelle moottorille. Kokonaisuus poikkeaa laboratorioista 1 ja 2 huomattavasti erilaisen rakenteen vuoksi. Laboratorion 3 välimatkat mittapisteiltä analysaattoreille ovat lyhyitä, ja reititys on helppo toteuttaa. Laboratorio 3 on esitetty kuvassa 16. Laboratoriossa 3 ei ole erillistä valvomohuonetta, joten valvontalaitteet sijoitetaan testisellien eteen.



Kuva 16. Yksinkertaistettu piirustus laboratorion 3 rakenteesta.

Laboratorion 3 yläosaan on asennettu testisellien moottoreiden pakoputket. Pakoputkien mittapisteet on esitetty kuvassa 17. Analysaattorit voidaan sijoittaa joko laboratorion yläosaan tai alaosaan kuvan 16 mukaisesti. Tilan puolesta molemmat vaihtoehdot ovat hyviä. Rajoittavia tekijöitä sijoituksessa ovat lämpötila, kalibrointikaasujen saatavuus, mittalaitteiden käsiteltävyys ja kulkuyhteydet. Laboratorion yläosaan asennetut pakoputket voivat

aiheuttaa lämpötilamuutoksia ympäristön ilmaan. Kulkuyhteydet laboratorion ala- ja yläosaan ovat hyvät, joten rajoituksia ei muodostu. Kalibrointikaasupiste on asennettu laboratorion alaosaan seinään testisellien ulkopuolelle. Lisäksi alakertaan sijoitettuna mittalaitteet ovat lähellä valvontalaitteita, ja siten helposti saatavilla mittausten aikana. Jos laitteet sijoitetaan laboratorion alaosaan, laitteet voidaan asettaa mittausvalmiuteen ilman yläosaan siirtymistä.



Kuva 17. Laboratorion 3 yläosa, jossa mustalla katkoviivalla on merkitty yksi näytelinja kultakin mittauspisteeltä ja kaksi lähtevää näytelinjaa EEPS:n laimenninpäästä. Punainen katkoviiva kuvaa mahdollista EEPS:n paikkaa. Punaisella ympyröidyt numerot kuvaavat kahden pakoputken vastaavia mittauspisteitä.

Kuvissa 17 ja 18 on esitetty näytelinjojen mahdolliset reitit yläosasta alaosaan. Alaosaan asennettujen kaapelihyllyjen väliin voidaan asentaa lisää kaapelihyllyä näytelinjojen tukevan asennuksen varmistamiseksi. Kuvassa 17 on nähtävissä laboratorion 3.2 (vasen) ja 3.1 (oikea) pakoputket ja niihin merkattujen näytepisteiden paikat numeroituina ja ympyröityinä. Numerolla 1 merkittyjä mittauspisteitä käytetään käsittelemättömän pakokaasun

mittaukseen. Myöhemmin asennettavien jälkikäsittelylaitteiden mittaukset tehdään pisteistä 2 ja 3. Kuvien esitetyt usean näytelinjan reitit on kuvattu kukin yhdellä katkovii-valla.



Kuva 18. Laboratorion 3 valvomotiili näytelinjojen kaksi mahdollista reittiä laboratorion yläosasta alakertaan kuvattuna mustalla katkovii-valla. Kuvan vasemmanpuoleinen ovi vie testiselliin 3.2 ja oikeanpuoleinen ovi vie testiselliin 3.1. Yläreunassa näkyy kulkusilta yläosan ovelta testisellien katolle pako-putkien läheisyyteen.

Kun mitataan kuvan 17 mukaiselta ensimmäiseltä mittapisteeltä, etäisyys on hieman alle 10 metriä, jos laitekaappi sijoitetaan etäälle seinästä. Technobothnian mittalaitekaapin näytelinjan pituus on 10 metriä, joten lopullisesta asennuksesta riippuen pituus riittää. Näytelinjan alku- ja loppuosa on mahdollista korvata alkuperäisiä pidemmällä eristetyillä

liitosputkilla. Gasmetin näytelinja on riittävän pitkä erillisen pumpun ja näytelinjan ansiosta. Smoke meter vaatii nykyistä pidemmän näytelinjan. Mutta laite vaatii nykyistä pidemmän näytelinjan laboratorion 1 mittauksiin, joten tätä ei tarvitse erikseen huomioida.

Jos laitteet sijoitetaan laboratorion yläosaan, valvomolaitteille pitää tuoda ainoastaan datakaapelit. Tässä tapauksessa alaosaan sijoitettu kalibrointikaasupiste ja sähköliitäntä pitää viedä yläosaan mittalaitteiden saataville. Lisäksi mittalaitteet ovat yläosaan sijoitettuna vaikeammin saatavilla mittausten aikana. Kaikkien edellä mainittujen mittalaitteiden näytelinjojen pituudet riittävät, jos laitteet sijoitetaan yläosaan.

Kuvan 17 (sivu 45) testisellin 3.2 pakoputken ensimmäisen näytepisteen etäisyys aidasta on likimain 2,7 metriä. Vastaava etäisyys sellin 3.1 pakoputkella on noin 2,4 metriä. Laboratorion alaosaan on asennettu kaapelihylly suunnilleen 3,5 metrin korkeuteen noin kolmen metrin etäisyydelle seinästä. Jos näytelinjan reitti valitaan kaapelihyllyn kautta, tulee huomioida edellä mainittu lisäetäisyys. Sellin 3.1 pakoputken toinen mittauspiste on likimain 5,6 metriä ensimmäiseltä pisteeltä. Kolmannen ja toisen mittauspisteen välimatka on noin 2,7 metriä. Vastaavat etäisyydet sellin 3.2 pakoputkella ovat noin 3,9 ja 2 metriä. Edellä mainittujen etäisyyksien mukaan tarvitaan suunnilleen 8,5 ja 5,9 metriä pidemmät näytelinjat, kun mitataan kolmansilta mittauspisteiltä.

Näytelinjojen reitti ylittää liikkumiseen tarkoitettun tilan, jos mittalaitteet sijoitetaan laboratorion alaosaan. Tässä tulee huomioida kaapelisuojan tai vastaavan muun apuvälineen tarve. Kaapelisuojaa käytettäessä tulee huomioida liitteen 1 kuvan 25 (sivu 85) kohdat 1 ja 5. Kaapelisuoja voidaan hankkia valmiina tai rakentaa itse. Esimerkiksi Sareskoski Oy (Sareskoski Oy 2017) ja Elpac Oy (Elpac Oy 2017) tarjoavat valmiita kannellisia kaapelilistoja, joissa on tarpeeksi suuret urat näytelinjoja varten.

Mittalaitteiden pakokaasun poisto tulee huomioida vastaavasti kuin muissa laboratorioissa. Tässä tapauksessa mittalaitteet sijaitsevat oleskelutilassa, joten pakokaasua ei voida päästää samaan tilaan. Vaihtoehtoina on palauttaa kaasu testiselliin, mikä vaatii läpiviennin palautusputken asentamiseksi. Lisäksi vaihtoehtona on viedä palautusputki takaisin

laboratorion yläosaan, jossa sijaitsee polttoaineiden säiliöhuone. Kyseisen huoneen ilmanvaihto on huomattavan voimakas, joten pakokaasut voidaan poistaa huoneen ilmanvaihdon poistokanavaan. Kuten muissa tapauksissa, tulee huomioida poistettavan kaasun jäähtyminen ja kondensoituminen. Näytekaasu tulee kierrättää kondenssivedenkeräimen kautta.

4 SUUNNITELMAT SICK-LAITEKAAPILLE JA EEPS:LLE

4.1 SICK-laitekaappi

SICK-laitekaappi toimitetaan kahden laboratorion moottoreiden mittauksiin Technobot-hian laitteiden rinnalle. Laitekaappia käytetään laboratorioden 1 ja 2 moottoreiden mittaukseen. Laitekaapilla on mahdollisesta korvata Technobothnian laitteisto kokonaan mittalaitteiden käyttöohjeissa mainittujen mittaustarkkuuden arvojen perusteella. Laitteelle on varattu kaksi paikkaa VEBIC:n laboratoriossa. Ensimmäinen vaihtoehto on moottorilaboratoriossa 1 samassa tilassa kuin moottori. Toinen vaihtoehto on yläkerran apulaitetilassa, johon sijoitetaan muut mittalaitteet. Laitekaappi toimitetaan huhtikuussa moottorilaboratorioon 2, josta laitekaappi siirretään edelleen lopulliseen sijoituspaikkaansa. Moottorilaboratorioon 2 ei toimiteta moottoria vielä tässä vaiheessa, joten tilaa kyetään käyttämään hyväksi tähän tarkoitukseen. Laitteen aikaisen toimituksen tarkoitus on mahdollistaa käyttöönoton valmistelu ja testaus ennen varsinaisia moottorimittauksia. Laitekaapin käyttöönottoon ja asennukseen VEBIC:iin saadaan tukea Wärtsilältä. Laitekaapin paino on noin 350–500 kg ja mitat 2200 x 2000 x 600 mm (K x L x S).

4.1.1 SICK-laitekaapin sijoittaminen apulaitetilaan

Apulaitetilaan sijoitettaessa laitekaappi tulee siirtää laboratorion toiseen kerrokseen. Moottoritilan ja aputilan välisessä laitteiston siirtämisessä on mahdollista käyttää kahta eri reittiä. Ensimmäinen vaihtoehto on siirtää laitekaappi moottorilaboratorion 1 moottoritilaan. Kyseisestä tilasta laitekaappi voidaan nostaa trukilla aputilan ja valvomon välisestä kulkuaukosta toiseen kerrokseen. Kyseisestä paikasta laitekaappi siirretään edelleen aputilaan pumppukärryllä. Toinen vaihtoehto on siirtää laitekaappi ensin moottorilaboratorion 2 takana olevalle käytävälle. Seuraavaksi laitekaappi pitää kuljettaa laboratorion 2 takana olevalle käytävälle. Henkilöhissin avulla laite saadaan rakennuksen toiseen kerrokseen. Hissin kantavuus on 1000 kg. Toisessa kerroksessa laitekaappi siirretään hissiltä apulaitetilaan käytävää pitkin.

Laitekaapin koko on siirtämisen suurin haaste. Molempien reittien matkalla on ovia, joiden korkeus on 2 metriä. Käytävän kautta kulkevalla reitillä on ovien lisäksi hissi, jonka korkeus on 2,1 metriä. Kaapin korkeus on 2,2 metriä, johon lisätään pumppukärryn nostokorkeus ja kynnysten ylitys. Jos kaappi kaadetaan kyljelleen kuljetusta varten sen korkeudeksi jää 1,4 metriä ja pituudeksi 2,2 metriä. Kyljellään kaappi pystytään kuljettamaan oviaukkojen läpi, mutta hissin syvyys on tällöin liian pieni. Laitekaapin kaataminen kyljelleen on haastavaa suuren painon vuoksi. Ongelmaksi muodostuu modifioidun version lasikuidusta valmistettu kaappi, joka ei kestä kaatamista sen sisältämän laitteiston massan vuoksi.

Laitekaapin sisältö pitää purkaa, jotta kaappi voidaan siirtää yläkerran aputilaan. Purkamisella tarkoitetaan tässä tapauksessa laitekaapin sisältämän laitteiston irrottamista lasikuitukaapista ja sen rakenteista. Purkamisen jälkeen kaapin sisältämä laitteisto on mahdollista siirtää erillään toiseen kerrokseen kumpaa tahansa reittiä käyttämällä.

Kun käytetään jälkimmäisenä mainittua reittiä, vältetään laitteen nostaminen toiseen kerrokseen. Nostaminen on turvallisuusriski laitteelle ja ihmisille. Lasikuitukaappi on edelleen haaste siirrossa, sillä kaappi on hyvin hauras. Tyhjänä runko saattaa kestää kaatamisen kyljelleen, mutta runko on suositeltavaa tukea erillisellä tukirakenteella. Tukirakenne on mahdollista rakentaa esimerkiksi puulankusta. Kaappiin jää kiinni ilmastointilaitteisto ja kaasuhälytystorvet sekä muutamia läpivientejä, mitkä tulee huomioida siirron aikana. Tukirakenteen avulla kaappi kaadetaan kyljelleen ja nostetaan trukilla laitehuoneen ja valvomon välisestä oviaukosta. Lasikuitukaappi voidaan jättää pois laitekaapin kokoonpanosta, mutta tässä tapauksessa laitteistolle pitää rakentaa uusi runko. Ilman kaappia laitteisto altistuu suoraan huoneilman muutoksille. Uusi runko on mahdollista suunnitella sen jälkeen, kun laitteisto on irrotettu kaapista ja tiedetään kaikki mitat ja tarpeet. Nyt FID:n ohjausyksikkö on kiinnitetty kaapin yläosaan erilliseen telineeseen, joten uudessa rungossa ohjausyksikön johdotukset ja asento saattavat rajoittaa suunnittelua. Uuden rungon suunnittelussa tulee huomioida ainakin komponenttien lämpötila, jotta voidaan valmista tarpeeseen sopiva eristys. Komponenttien pintalämpötilat voivat olla jopa 200 celsiusastetta.

Kaikkien komponenttien siirtämisen jälkeen laitteisto pitää koota uudelleen. Laitteisto asennetaan alkuperäiseen järjestykseen lasikuitukaapin sisään tai kaapin sisältämä laitteisto voidaan kiinnittää uuteen runkoon. Purkamiseen ja kokoamiseen kuluu paljon aikaa, joten kustannuksissa on huomioitava työtuntien määrä. Kortelaisen (2017a) mukaan purkamisessa ja kokoamisessa tulisi olla mukana laitevalmistajan edustaja tai henkilö, joka tuntee ennestään laitteiston. Tällöin asiantuntijat voivat varmistaa asennustyön ja laitteiston käsittelyn täsmällisyyden. Laitteisto sisältää huomattavan määrän johdotuksia ja sisäisiä näytelinjoja. Kun johdotuksia irrotetaan, jokainen johto tulee merkitä niin, että uudelleenasennus voidaan tehdä merkintöjen mukaan. Suurin osa johdotuksista ja laitteistosta on kiinnitetty kaapin takaseinään erilliseen paneeliin. Vasta purkamisen yhteydessä on mahdollista todeta, kuinka kokonaisena paneeli voidaan kuljettaa.

Laitekaapin sijoituksessa apulaitetilaan on etuja. Laitekaapin sijoittaminen samaan tilaan muiden mittalaitteiden kanssa mahdollistaa kaikkien laitteiden yleisen tarkastelun samanaikaisesti. Apulaitetilassa on valmiina kalibrointikaasut ja FID:n vaatima polttoainekaasu, joka voidaan syöttää analysaattorille PTFE-letkun kautta. Apulaitetilassa on lisäksi huomattavasti stabiilimpi ympäristö kuin alakerran moottoritilassa. Stabiili ympäristö ei tuo merkittävää etua, jos laitteisto kootaan uudelleen lasikuitukaapin sisään. Kaapin ilmastointilaitteisto pitää huolen kaapin ilman stabiiliudesta.

Haittapuolena ovat korkeat kustannukset, jos laitekaappi sijoitetaan apulaitetilaan. Kustannukset muodostuvat purkamisesta ja asennuksesta johtuvista työtunneista, ja näytelinjan ja putkinipun reitityksestä. Purkaminen ja uudelleenasettaminen voi rungosta riippuen kestää viikkoja. Ainoastaan kaksi henkilöä pystyy tekemään työtä tehokkaasti tilanpuutteen vuoksi. Uuden rungon suunnittelu, materiaalit, rakentaminen ja asennukseen liittyvä lämpöeristys lisäävät kustannuksia. Uusi runko vaatii lisäksi enemmän työtunteja edellä mainittujen tehtävien toteutuksessa. Purkamisessa ja asentamisessa riski osien rikkoutumiseen kasvaa.

Näytelinjan ja putkinipun asennus mittausyhteeltä analysaattorille vaatii omat läpiviennit. Läpivientien hinta koostuu kahden reiän poraamisesta ja läpivientiosien hankkimisesta. Reikien poraaminen voidaan toteuttaa samanaikaisesti muiden aputilaan sijoitettavien

laitteiden näytelinjojen reikien poraaminen kanssa. Näytelinja ja putkinippu vaativat joka tapauksessa omat läpiviennit, joten muita reikiä ei pysty hyödyntämään. Laitekaapin sijoitus näytteenottimen yläpuolelle ei salli erillisiä nousuja ja laskuja, vaan näytelinjan on oltava koko ajan nouseva. Laitetilaan sijoitettaessa tulee erikseen huomioida pakokaasun poisto laitetilasta. Poisto voidaan toteuttaa muiden laitteiden tuottaman poistettavan pakokaasun ohella tai omalla poistollaan. Poistamiseen sopii esimerkiksi 10 mm PTFE-letku, mutta kondenssivesi tulee tällöin huomioida.

4.1.2 SICK-laitekaapin sijoittaminen moottoritilaan

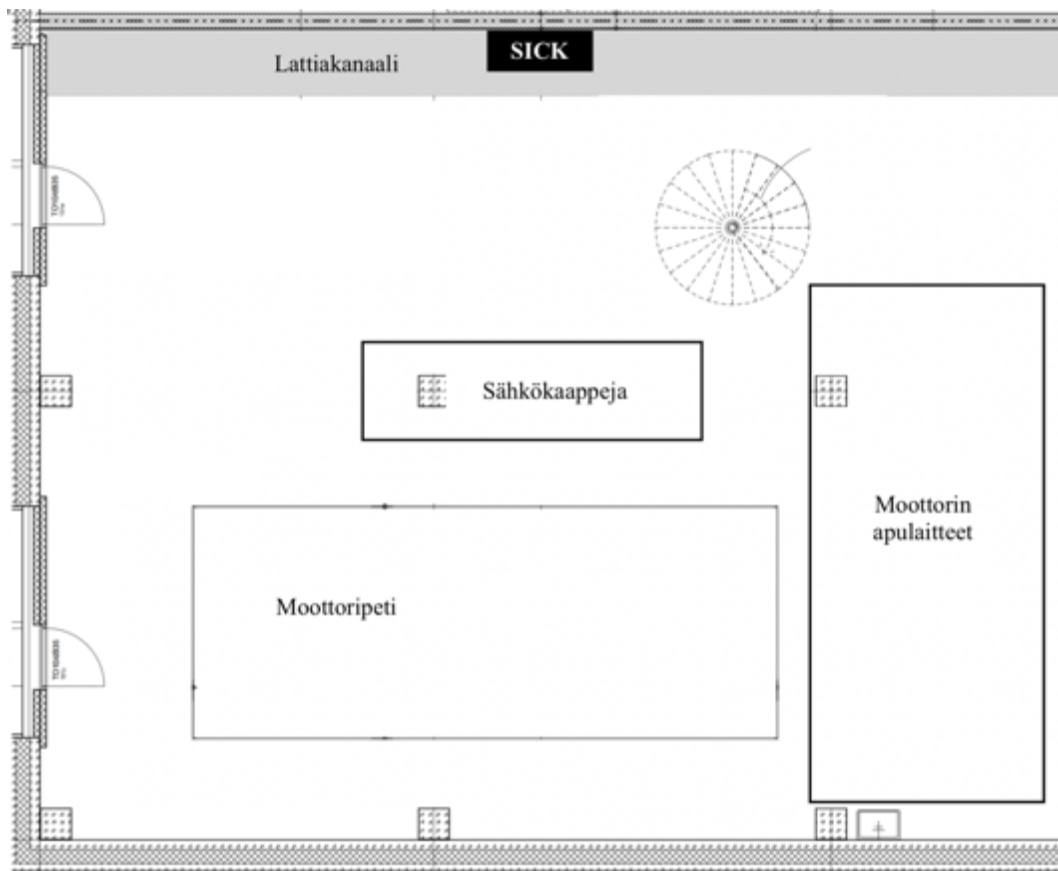
Toisena vaihtoehtona on, että laitekaappi sijoitetaan laboratorion 1 moottoritilaan. Tässä ratkaisussa etuna on, ettei laitteistoa tarvitse purkaa, vaan ainoastaan siirtää paikalleen laboratorion 2. Laitekaappi voidaan siirtää laboratorion toiseen pumppukärryn avulla ulkokautta. Tässä tapauksessa asennukseen kuluva aika lyhenee huomattavasti. Moottoritilaan sijoitettaessa näytteenottopiste on samassa tilassa kuin analysaattori, joten näytelinja ja putkinippu eivät vaadi läpivientejä. Tämän vuoksi näytelinjan ja putkinipun reititys on helpommin toteutettavissa. Lisäksi asennustavasta riippuen voidaan saavuttaa suositusten mukainen näytelinjan asennus. Suositeltu näytelinjan asennus on näytteenottopisteeltä laskeva reitti ilman nousevia kohtia. Tässä tapauksessa pystytään toteuttamaan näytelinjan tuonti laitteelle niin, että viimeinen osuus on suoraan alas laskeva. Kortelaisen (2017a) mukaan näytelinjan käyttöä kannalta laitteen sijoitus näytepisteen alapuolelle on suositeltavaa. Lisäksi näytelinja on helpompi asentaa avoimempaan tilaan, kuin läpiviennin vaatimaan tilaan. Näytepisteen alapuolelle sijoitettaessa on mahdollista tehdä yksi nousu ja lasku, mikä helpottaa edelleen näytelinjan asennusta.

Moottoritilaan sijoittamisen haittapuolena on testisellin lämpötilan ja ilmanlaadun vaihtelu silloin, kun moottoria käytetään. Laitekaapin ilmastoinnin ja suljetun ilmankierron ansiosta vaihtuvat olosuhteet eivät vaikuta mittauksiin. Lisävarustuksen ansiosta laitekaappi kykenee toimimaan normaalisti jopa 60–70 °C lämpötilassa. Suurimpana haasteena moottoritilaan sijoitettaessa on FID:n polttokaasun tarve. Polttokaasuna voidaan käyttää vety-helium-seosta tai puhdasta vetyä, mutta näitä ei ole toistaiseksi saatavilla

moottoritilassa. FID:n käyttöä varten joudutaan rakentamaan kaasuputki olemassa olevien putkistojen lisäksi. Kalibrointikaasut kulkevat ulkona olevalta kaasuvälikäytöstä yläkertaan moottoritilan takaseinältä. Kaasuputket kulkevat siis samassa tilassa, jolloin uutta putkea asentaessa läpivientejä ei tarvitse tehdä. Jos kaasulinjaa jatketaan aputilan kalibrointikaasupisteeltä moottoritilaan, tarvitaan yksi läpivienti. Tässä tapauksessa matka on muutamia metrejä lyhyempi kuin moottoritilan takaseinältä. Tämän vuoksi putken rakentaminen moottoritilaan on parempi vaihtoehto kuin aputilan kautta tuominen. Tällöin vältetään läpiviennin tekemiseltä, mikä on kalliimpaa kuin muutama metri ylimääräistä putkea. Pienen kaasunkulutuksen vuoksi vaihtoehtona kaasuputkelle on erillinen vetykaasupullo, joka voidaan sijoittaa analysaattorin viereen. Normaalisti polttoaineeksi tarkoitettu vety on sijoitettu erilliseen huoneeseen, jossa on LEL-mittarit ja hyvä tuuletus. Vety on räjähdysherkkä kaasu, mikä aiheuttaa rajoituksia käyttöön. Jos moottoritilaan sijoitetaan vetykaasupullo, se tekee kyseisestä tilasta Ex-tilan. (Kangas 2017b.) ”Ex-tila on tila, jossa voi esiintyä sellaisia määriä vaarallista räjähdyskelpoista ilmaseosta, että toimenpiteet työntekijöiden suojaamiseksi räjähdysvaaralta ovat tarpeen” (Tukes 2015: 10). Ex-tilamäärityksestä riippuen tilaan tarvitaan suojajärjestelmät. Polttokaasu tulee aina siirtää laitteille asti teräksisellä putkella. Vety-helium-seos ei ole niin räjähdysherkkää kuin puhdas vety, joten seoksen käyttö suoraan pullosta on vähemmän rajoitettua. 20 litrainen 200 barin paineessa oleva kaasupullo sisältää $3,6 \text{ m}^3$ kaasua (AGA 2012: 16). EuroFID kuluttaa keskimäärin 1,8 litraa polttokaasua tunnissa (SICK 2003: 13), joten kaasua riittää noin 1800 tunniksi.

Moottorin testisellissä on useita sijoituspaikkoja laitekaapille. Sijoituksessa pitää huomioida monia seikkoja kuten saatavuus, polttoainekaasu, näytelinja, putkinippu, signaali-kaapeli, sähkön saatavuus, tilan käyttö, paikan tukevuus, mahdolliset kulkutarpeet muualle ja moottorin apulaitteet. Laboratorion 1 testisellin yksinkertaistettu pohjapiirustus on esitetty kuvassa 19. Laitekaapin sijoitus tulee tehdä lähelle kiinteää tukipistettä, johon kaappi voidaan kiinnittää. Tästä syystä sijoitus rajoittuu seinän viereen, rakennuksen palkkeihin ja pakoputken kannattimen jalkojen läheisyyteen. Pakoputki on asennettu noin kolmen metrin korkeudelle, joten kaappi voidaan sijoittaa putken alapuolelle. Jos laitekaappi sijoitetaan kuvassa 19 näkyvän moottoripedin alapuolelle ja vasemmalle puolelle,

moottorin läheisyys estää kaapille kulkemisen testin aikana. Kyseisiin paikkoihin sijoitettaessa kiinteän polttokaasuputken asentaminen vaikeutuu, ja kustannukset kasvavat. Lisäksi näytelinjojen pituus kasvaa huomattavasti, jos laboratorion 2 mittaukseen vaaditut linjat tuodaan samalle laitekaapille. Portaikon ja moottorin oikeanpuoleinen tila on varattu moottorin apulaitteille. Lisäksi rakennuksen runkopalkkien läheisyydessä on sähkökaappeja, joten sijoitus kyseiseen paikkaan ei ole mahdollinen. Sijoitus sähkökaappien viereen pakoputken alle ei ole mahdollinen, sillä reitti moottorille estyisi. Kuvan 19 mukaiselle paikalle asennettaessa edellä mainitut seikat tulevat parhaiten huomioiduiksi. Esi-
tetty paikka on seinän vieressä, lattiakanaalin päällä. Lattiakanaalin päällä on rautaisista ritilöistä rakennettu taso, jonka päälle laitekaappi voidaan sijoittaa. Laitekaapin alle tulee asentaa levy, jotta paino jakautuu tasaisesti. Asennuksessa tulee huomioida lisäksi ritilöiden saumat. Laitekaapin sijoituksesta riippuen osa erillisistä ritilöistä ei ole avattavissa. Kuvassa esitetyllä paikalla laboratorion 1 ja 2 näytepisteet ovat saavutettavissa laitteen mukana tulevalla näytelinjalla.



Kuva 19. Moottorilaboratorion 1 testisellin yksinkertaistettu pohjapiirustus. Kuvassa on merkitty mittasuhteineen ja merkinnöin tekstissä esitetyt sijoitukseen vaikuttavat tekijät. Kuvassa näkyvä kierreportaikko johtaa toisen kerroksen valvomon ja laitetilan väliselle ovelle. Kuvassa on esitetty myös rakenteiden palkit, joiden lähettyville pakoputki on asennettu.

4.1.3 SICK-laitekaapin näytelinjan ja putkinipun sijoitus

VEBIC:iin toimitettavaan SICK-laitekaapin laitteistoon kuuluu näytelinja, näytteenotin ja putkinippu. Näytelinja on kiinnitetty näytteenottimeen, joka vaatii oman mittausyhteen pakoputkeen. Mittausyhteen sijoittamisessa tulee huomioida lämpötilan vaikutus, kondensoituminen ja tilan tarve. Näytteenotin sisältää karkeasuodattimen, hienosuodattimen, suodattimen kotelon, näytteenvalitsinlohkon ja asennuslaipan (SICK 2005: 14). Näytteenottimen kokonaispaino on noin 20 kg, joten mittausyhteen suunnittelussa tulee huomioida painon rajoittavat tekijät. Lämpötilan vuoksi pakoputken ja mittausyhteen väliin tulee asentaa putki. Putken tulee pystyä kannattelemaan koko näytteenottimen painoa. Jos

mittausyhde asennetaan muuhun suuntaan kuin ylöspäin, näytteenottimen painon vaikutuksesta hitsauskohtaan aiheutuu merkittävä vääntö. Lisäksi tulee huomioida valmistajan (SICK 2005: 17) vaatimus näytteenottimen asennussuunnasta. Kondenssiveden poistamiseksi asennussuunta tulee olla vähintään 10° laskeva pakoputkea kohti. Näytteenottimen sondi tulee olla niin pitkä, että näytteenottopiste pakoputken sisällä on noin kolmasosan pakoputken halkaisijasta. Tilan salliessa mittausyhde on paras asentaa pakoputkeen kohtisuoraan ylöspäin. Näin voidaan täyttää valmistajan vaatimus ja samalla estää suuren väännön syntyminen hitsauskohtaan. Näytteenottoon liitettävän näytelinjan suositeltava asennussuunta näytteenottomelta mittalaitteille on käyttöohjekirjan (SICK 2005: 33) mukaan suoraan alaspäin. Jos analysaattori asennetaan laitehuoneeseen, ei voida noudattaa suositeltua näytelinjan asennussuuntaa, sillä aputila on ylempänä kuin mittausyhde. Näytteenotinta varten tarvitaan erillinen mittausyhde laippaliitoksella. Mittausyhteen malli määräytyy laitteen mukana toimitettavan näytteenottimen vaatimuksista (Kortelainen 2017a). Mittausyhteen laippaliitokseen tarvitaan näytteenottimen kanssa yhteensopiva DN65 PN6 -laippa. Ennen näytteenottimen kiinnitystä on hyvä tarkastaa sondin oikea pituus.

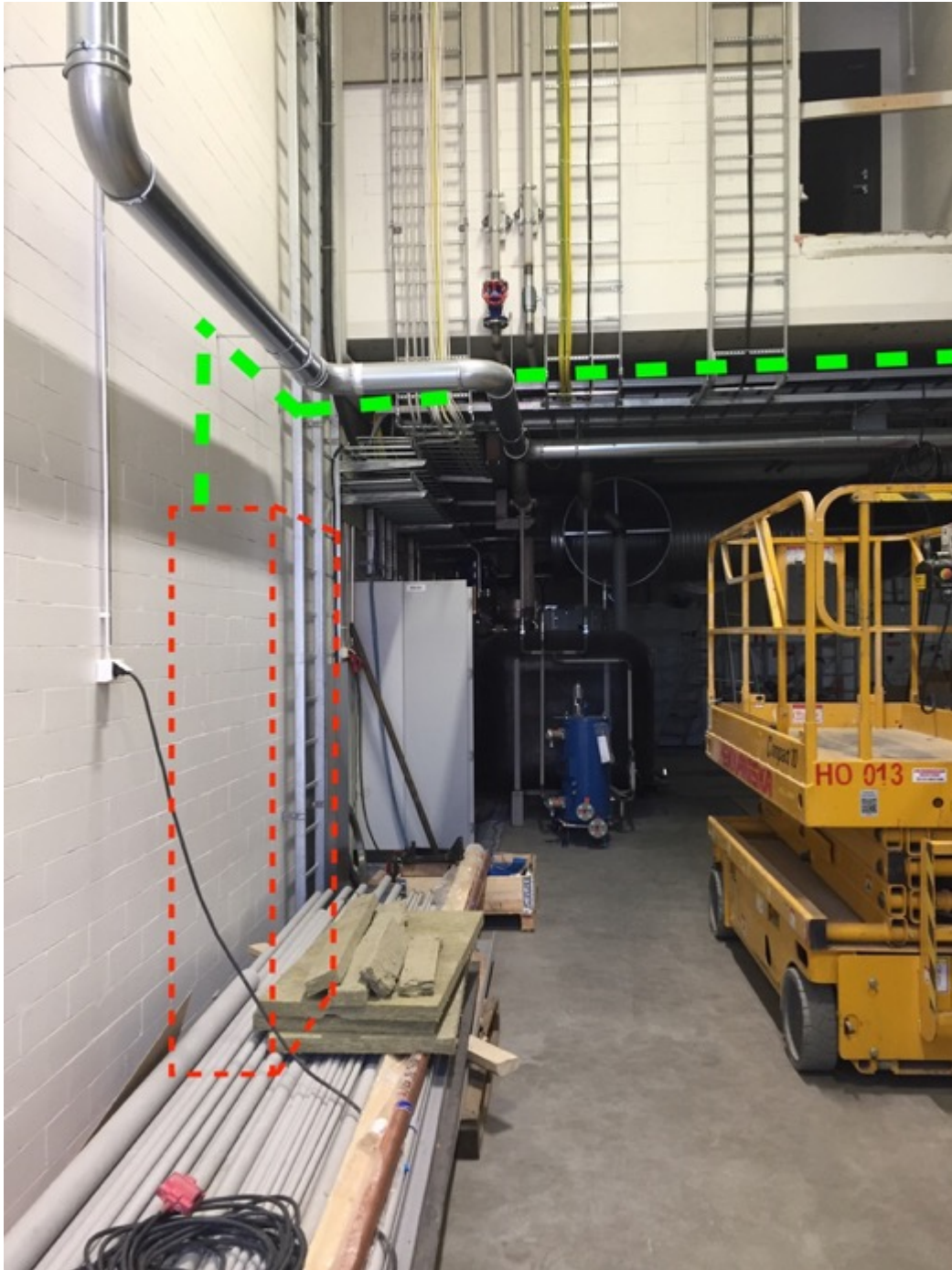
Laitekaapin mukana toimitettavan näytteenottoon liitettävän näytelinjan pituus on 20 metriä. Näytelinjan ulkohalkaisija on noin 45 mm ja taivutussäde 300 mm. Näytelinjan sisällä on 6/8 mm PTFE-letku ja linjan päissä liittimenä 4/6 mm ruostumatonta teräsputkea. Näytelinja on rakenteeltaan vastaava kuin kuvassa 8 (sivu 29) esitetty malli. Näytelinja on suunniteltu ja kalibroitu tässä käsiteltyä MCS 100 E HW -analysaattoria varten. Tämän vuoksi näytelinjan pituus tulee olemaan edellä mainittu, vaikka se olisi suunniteltuun asennukseen liian pitkä. Näytelinja voidaan kiinnittää seinään esimerkiksi siten, että ylimääräinen linja nousee kerran ylös ja laskee alas. Näytelinja voidaan lisäksi kiinnittää pakoputken huoltotason pohjaan niin, että ylimääräinen letku kiertää ylimääräisen lenkin. Jos ylimääräinen näytelinja kääritään kerälle esimerkiksi lattialle, tulee huomioida, ettei näytelinja kosketa itseään missään vaiheessa. Tässä tapauksessa jokaisen kierroksen väliin tulee asettaa kuumuutta kestävästä materiaalista valmistettu eriste, joka samalla mahdollistaa ilmanvaihdon letkun ympärillä. Jokaisessa asennustavassa pitää huomioida näytelinjan paikallisten matalien kohtien välttäminen kondenssiveden estämiseksi. Näytelinjalla on samat ominaisuudet ja vaatimukset kuin aiemmin esitellyillä näytelinjoilla.

Näytelinjan lisäksi laitteen mukana toimitetaan näytteenottimen ohjaukseen tarkoitettu 22 metriä pitkä putkinippu (bundle of pipes). Putkinippu sisältää kaksi paineilmaletkua, yhden PTFE-putken, sähköjohdon ja signaalijohdot. Näytteenottimen näytteenvalitsinlohko toimii paineilmalla, jota voidaan kuljettaa putkinipun kautta. Putkinipun halkaisija on noin 30 mm ja pienin taivutussäde 500 mm. (Kortelainen 2017a.) Putkinipun suunnittelussa tulee ottaa huomioon taivutussäde, mutta muuten asennus on vapaampi kuin näytelinjoilla. Putkinipussa ei kuljeteta kondensoituvaa kaasua, joten ei ole tarvetta huomioida paikallisia matalia tai korkeita kohtia. Paineilman jako laitteiston tarpeiden mukaan tapahtuu laitekaapin sisältämien paineensäätimien ja venttiileiden avulla.

Putkinipun ja näytelinjan reitti tulee suunnitella näytteenottomelta laitekaapille. Reitillä tulee huomioida molempien kiinnitys, taivutussäde, esteet ja muut linjat. Putkinipun asennuksessa ei tarvitse huomioida kondenssiveden syntymistä instrumentti-ilman laadun vuoksi. Näytelinjan ja putkinipun kiinnitykseen voidaan asentaa kaapelihyllyjä, joiden avulla varmistetaan tukeva asennus. Kaapelihyllyn avulla voidaan estää näytelinjan ylimääräinen raskaus, sillä näytelinja saa levätä kaapelihyllyllä vapaasti. Tarvittaessa näytelinja ja putkinippu voidaan kiinnittää osittain pakoputken huoltotasoon. Jos laitekaappi sijoitetaan aputilaan, tarvitaan oma läpivienti putkinipulle ja näytelinjalle. Läpivienti pitää tehdä joko aputilan ja laboratorion väliseen seinään tai lattiaan. Putkinipun läpivienissä voidaan käyttää reikää ja kaikkia palokatkoon soveltuvia irrotettavia tuotteita. Palokatko tulee olla irrotettava putkinipun liikuttamisen ja paikan vaihtamisen vuoksi, joten massaa tai vaahtoa ei saa käyttää. Putkinipun asennuksessa on hyvä tarkastaa liitteen 1 (sivut 83–85) asennussuositukset liittyen mekaaniseen rasitukseen.

Kuvassa 20 on esitetty punaisella katkoviivalla SICK-laitekaapin mahdollinen sijoituspaikka laboratorion 1 alakertaan. Lisäksi kuvissa 20, 21 ja 22 on esitetty laitekaapin näytelinjan ja putkinipun reitti vihreällä katkoviivalla. Kuvassa 22 on esitetty näytteenottimen sijainti punaisella katkoviivalla reunustetulla harmaalla laatikolla. Pakoputken huoltotason pohjaan voidaan asentaa kaapelihyllyä putkinipun ja näytelinjan reitille asennuksen helpottamiseksi. Laitekaapin molemmissa esitellyissä sijoituspaikoissa näytelinja ja putkinippu voidaan asentaa pakoputken huoltotason alle ja edelleen portaikon ylätas-

teen alle vastaavalla tavalla. Technobothnian mittalaitteiden näytelinjat asennetaan vastaavalla tavalla kuin SICK-laitekaapin näytelinja, jos laitekaappi sijoitetaan aputilaan. Kuvassa 21 on esitetty mahdollisten läpivientien paikat punaisilla ympyröillä. Läpivientien määrä riippuu näytelinjojen määrästä. Kun näytelinjat käännetään vaakatasosta pystysuuntaan seinälle, näytelinjojen taivutussäde täytyy huomioida. Jos näytelinja roikkuu vapaasti läpiviennin alapuolella, taivutuskohtaan syntyy suuri rasitus. Rasituksen välttämiseksi seinään tulee asentaa kaapelitikkaat. Jos läpivienti sijoitetaan seinän alareunaan, vapaasti roikkuvaa osaa ei jää. Läpivienti on kohtisuorassa näytelinjaan nähden, joten näytelinjan tulee kulkea tarpeeksi etäällä seinästä. Jos näytelinja kulkee liian lähellä seinää, taivutussäde muodostuu liian pieneksi. Palokatkokauluksissa kaulusta jää mahdollisesti 10 senttiä seinän ulkopuolelle, mikä lisää tarvittavaa näytelinjan etäisyyttä seinästä. Vastaava mutka syntyy molemmille puolille seiniä, riippuen läpiviennin paikasta. Jos läpiviennit tehdään seinän alaosaan tai lattiaan, vältetään ylimääräiseltä nousulta. Apulaitetilan lattia on noin 900 mm paksu, joten läpivienti voidaan toteuttaa ainoastaan kiinteillä läpivientikappaleilla. Pitkien läpivientikappaleiden hinnat ovat huomattavasti suurempia kuin 240 mm läpivientien. Mittalaitteiden näytepumppujen liittimet ovat lähellä lattiaa, joten läpivienti seinän yläosasta ei tuo etuja.



Kuva 20. Kuva VEBIC:n laboratorion 1 moottoritilasta. Punaisella katkoviivalla on merkitty mahdollinen SICK-laitekaapin paikka ja vihreällä sille tulevan linjan reitti.



Kuva 21. Kuva VEBIC:n laboratorion 1 moottoritalasta. Vihreällä katkoviivalla on merkitty SICK-laitekaapille tulevan linjan reitti. Mustalla katkoviivalla on merkitty aputilaan sijoitettavien laitteiden linjojen reitit. Punaisella katkoviivalla on merkitty EEPS:n mahdollinen paikka huoltotasolla. Punaiset ympyrät seinällä kuvaavat mahdollisten läpivientien paikkaa.



Kuva 22. Kuva VEBIC:n laboratorion 1 moottoritilasta. Vihreällä katkoviivalla on merkitty SICK-laitekaapille menevän linjan reitti. Mustalla katkoviivalla on merkitty aputilaan sijoitettavien laitteiden linjojen reitit ja EEPs:n laimenuspäältä lähtevät linjat. Punaisella reunustettu harmaa neliö kuvaa SICK-laitekaapin näytteenotinta.

Jos SICK-laitekaappi sijoitetaan moottoritilaan, kaapelihyllyä pitää asentaa koko kuvassa 21 esitetyille reitille. Seinän nurkassa tulee huomioda taivutussäde, jolloin voidaan käyttää erillistä hyllyn kulmapalaa. Kulmasta eteenpäin laitekaapille kaapelihylly voidaan asentaa tasaisesti laskevaksi, jolloin pystysuuntaisen kiinnityksen määrä vähenee. Samalle kaapelihyllylle voidaan asentaa putkinippu ja näytelinja. Kaapelihyllyä tarvitaan laboratorioon kaikkineen noin 18 metriä, josta osa on käytössä myös aputilaan sijoitettavien laitteiden näytelinjoille.

Laitekaapin analysaattorit tuottavat poistettavaa, jo mitattua pakokaasua muutamia litroja minuutissa. Poistettavaa kaasua syntyy MCS 100E HW:sta enimmillään 27 litraa minuutissa, mikä on laitteen pumpun suurin kapasiteetti. Moottoritilaan sijoitettaessa pakokaasu voidaan poistaa suoraan ympäröivään ilmaan huomattavan ilmanvaihdon ansiosta. Kun

jäähtynyttä kaasua poistetaan, kaasun sisältämä vesi saattaa kondensoitua. Tämän vuoksi kaasulle pitää olla kondenssiveden keräämiseen tarkoitettu astia, jota voidaan tyhjätä ajoittain. Ennen keräysastiaa poistoletkun tulee olla analysaattorilta lähtien laskeva. Pakokaasunäytteen on oltava analysaattorin läpi asti noin 180 °C, minkä jälkeen se saa vapaasti jäähtyä. Poistoletku voi olla lämpösaatettu, jolloin sen asennolla ei ole merkitystä. Lämpösaatetun poistoletkun haittapuolena on tarve poistoletkun vastuksen ohjainyksikölle ja siten poistoletkun ja ohjainyksikön hankintakustannukset. Tarvittaessa tavallinen letku voidaan eristää, jolloin jäähtyminen hidastuu.

4.1.4 SICK-laitekaapin asennus laboratorioon 2

Laboratorion 1 lisäksi SICK-laitekaappia käytetään mittauksiin laboratoriossa 2. Laboratorion 2 pakoputkea ei ole vielä suunniteltu. Laboratorion 2 pakoputkea suunnitellessa täytyy lisätä laitekaapin vaatima mittaussyhde. Laitekaappia ei siirretä laboratorioden välillä, vaan päätetty sijoituspaikka on pysyvä. Kahden laboratorion moottorin mittaukseen joudutaan siirtämään laitekaapin mukana tullutta näytelinjaa, putkinippua ja näytteenotinta. Vaihtoehtona siirtämiselle on hankkia toinen sarja edellä mainittuja apulaitteita. Paras ja helpoin ratkaisu kahden laboratorion mittauksiin on asentaa kaksi sarjaa, yksi kummallekin moottorille. Linjat ja näytteenotin voidaan vaihtaa laboratorioden välillä pakoputkesta toiseen, riippuen mittausten määrästä. Aluksi asennus voidaan toteuttaa laitteen mukana toimitettavilla komponenteilla. Näytteenotin on raskas siirrellä paikasta toiseen, varsinkin kun pakoputki on yli kolmen metrin korkeudessa. Pelkästään tämän vuoksi toinen näytteenotin olisi kannattavaa hankkia. Toinen sarja voidaan hankkia myöhemmin tarpeen mukaan.

Näytelinjojen asennuksessa laboratorioon 2 tulee huomioida samat seikat kuin muissa näytelinjojen asennuksissa. Näytelinja voidaan asentaa samalla tavalla kuin laboratorion 1 pakoputken huoltotason ja portaiden ylätasanteen alle. Portaot ovat seinän vieressä, joten läpivienti voidaan tehdä ylätasanteen alle. Läpiviennin avulla näytelinjat saadaan tuottaa laboratorion 1 puolelle, jossa voidaan käyttää hyödyksi aikaisemmin asennettua kaapelihyllyä. Moottoritilaan sijoitettuna tarvitaan läpivienti ainoastaan laboratorioden välille, mutta aputilaan sijoitettuna tarvitaan lisäksi toinen läpivienti. Läpivientiä ei voida

toteuttaa yhdellä reiällä laboratorion 2 ja laboratorion 1 aputilan välillä. Läpivientien toteutus riippuu muista hankinnoista ja tarpeista. Jos molempiin laboratorioihin asennetaan omat näyttelinjastot, voidaan toinen läpivienti tehdä kiinteäksi. Kiinteä asennus voidaan toteuttaa asentamalla erillinen kuumennettu läpivientikappale laboratorioden 1 ja 2 väliin.

Kahta näyttelinjastoa ja näytteenotinta käyttäessä tulee olla mahdollisuus valita mittauksessa käytettävä sarja. Valinta voidaan tehdä käsikäyttöisellä kolmitieventtiilillä tai sähköisellä venttiilillä. Jos laitekaappi on helposti saatavilla, voidaan käyttää käsikäyttöistä venttiiliä. Mitattavan linjan valintaan on saatavilla esimerkiksi kaupallisia verkkoselaimella ohjattavia näytteenvalitsinlohkoja (Kortelainen 2017a). Niiden hankinta helppoihin olosuhteisiin ei ole kannattavaa. Näytteenvalitsin voidaan sijoittaa erilleen laitekaapista, jolloin tarvitaan näyttelinja valitsimen ja analysaattorin väliin. Kun näytteenvalitsin sijoitetaan lähelle laitekaappia, vältetään ylimääräisen näyttelinjan hankinnalta.

4.1.5 SICK-laitekaapin käyttöönotto

Laitekaapin sisältämä toinen analysaattori on FID, joka ei ole ollut käytössä Wärtsilässä. Sijoituspaikasta riippumatta FID vaatii käyttöönotossaan samat toimenpiteet. FID on otettu ohjelmistollisesti pois käytöstä, joten ennen mittauksia FID tulee ohjelmoida takaisin käyttöön. MCS 100 E HW:n ja FID:n välisen näyttelinjan termoparin ohitus on toteutettu vastuksella, mikä tulee huomioida käyttöönotossa. FID:n käyttöönotto vaatii laitteiston parametriseinnin valmistajan edustajan toimesta, jolloin saadaan samalla määriteltyä FID käyttöön. Käyttämättömyyden vuoksi FID:n signaali puuttuu tiedonkeruusta eli parametriseinnissa tulee huomioida sen tarve. Laite vaatii signaalijohdon, jonka kautta tieto voidaan siirtää eteenpäin. (Kortelainen 2017a.)

Kankaan (2017a) mukaan varmin tapa ottaa FID käyttöön, on lähettää se tarkastutettavaksi ja perushuoltoon valmistajalle Saksaan. Tarkastus olisi hyvä tehdä ennen käyttöönottoa, sillä esimerkiksi laitteen sisältämät tiivisteet ovat saattaneet kovettua varastoinnin aikana. Laitteen suodattimet ja näytteenotin on hyvä tarkastaa ja vaihtaa tarvittaessa. Tar-

kastukseen pitää lähettää koko FID kaikkine komponentteineen eli ohjausyksikkö, kaapelit ja detektori. Ohjausyksikkö, detektori ja niiden välinen kaapeli tulee irrottaa laitekaapista. Irrotuksen tukena olisi hyvä käyttää valmistajan ohjekirjaa. Ennen tarkastusta pitää todeta laitteen toimivuus erillään muusta laitteistosta. FID:n tarkastuttaminen ja huolto maksavat vain pienen osan siitä, mitä uusi laite maksaisi. FID:n lisäksi voidaan huoltaa sen ohjainyksikkö, joka tuo lisäkustannuksia. Vaihtoehtona on huollattaa laite esimerkiksi suomalaisella Anatec Oy:llä, joka huoltaa Technobothnian laitteita. Anatecilla on mahdollisuus tarkastaa FID:n toiminta ja korjata mahdolliset viat. Lisäksi FID on mahdollista testata itse VEBIC:ssä. Tämä ei kuitenkaan ole suositeltavaa turvallisuuden ja työn laadun varmistamisen vuoksi. Mikäli FID:lle ei riitä pelkkä tarkastus ja perushuolto, vaan kokonaisvaltainen osien vaihto, on suositeltavaa hankkia uusi FID. Laitekaapissa on vetydetektori ja hälytyssireeni, jotka ovat kytketty pois päältä FID:n käyttämättömyyden vuoksi (Kortelainen 2017b).

Vaativien olosuhteiden varalta laitekaapissa on instrumentti-ilmansuodatin, joka on aikaisemmassa käytössä ohitettu (Kortelainen 2017b). Laitekaapin mukana tulevassa instrumentti-ilman perussuodatinpaketissa on nykyiseen käyttötarkoitukseen soveltuva suodatin, jolla laatu saadaan tarpeeksi hyväksi.

FID:n lisäksi muulle laitteistolle on hyvä tehdä yleinen kokonaisvaltainen kuntotarkastus. Yleinen visuaalinen tarkastus pitää tehdä jokaiselle laitteen mukana toimitettavalle komponentille. Laitekaapin sisällä on paljon komponentteja, joiden kiinnitys ja kunto pitää tarkastaa. Näytepumpun kalvo tulee vaihtaa uuteen pitkän varastoinnin vuoksi. Näytteenotin ja näytelinjat on hyvä puhdistaa ja tarkastaa ennen kiinnitystä. Näytteenottimen sondin pituus tulee varmistaa, sillä nykyinen asennus voi poiketa aiemmasta asennuksesta. Jos sondi on liian lyhyt, sitä voidaan jatkaa hitsaamalla siihen jatkopala. Sondi on katkaistu edellisen käyttökohteen tarpeen mukaan, mutta katkaistu osa on kaapin mukana. Vaativia olosuhteita varten katkaistussa osassa on liitin esisuodattimelle, mutta tässä tapauksessa sitä ei tarvita. Kaapin ilmastointilaitteen suodatin ja toiminta pitää tarkastaa. FID:n huollon ja mahdollisen kuljetuksen jälkeen sen yleinen kunto tulee tarkastaa. Laitekaapin paineilman suodatinpaketti tulee tarkastaa instrumentti-ilman laadun varmistamiseksi.

Lopullisen sijoituksen ja asennuksen jälkeen käyttöönoton viimeisenä vaiheena voidaan pitää laitekaapin analysaattoreiden lineaarisuuden tarkastusta. Lineaarisuuden tarkastusta varten tarvitaan oma kaasu jokaista mitattavaa komponenttia kohden tietyllä pitoisuudella. Halutut pitoisuudet saadaan muodostettua sekoittamalla typpeä ja mitattavaa kaasua keskenään kaasunjakajan avulla. Veden pitoisuuteen on olemassa oma vesikalibraattori, jolla voidaan tehdä tarkastus vesihöyryn mittauksia varten. Wärtsilällä on valmis järjestelmä analysaattoreiden lineaarisuuden tarkastukseen (Kortelainen 2017b), joten tähän tarkoitukseen ei tarvitse hankkia uutta laitteistoa. Laitekaapin analysaattoreiden lineaarisuuden tarkastus suoritetaan Wärtsilän avustamana sovittuna ajankohtana.

Instrumentti-ilma otetaan kompressorilta, joten siihen tarvitaan paineilmaletku. Analysaattorin mukana tuleva paineilmaletku kykenee palvelemaan ainoastaan laitteen omia tarpeita. Paineilmaletku voidaan kiinnittää joko suoraan laitekaappiin tai näytteenottimeen.

4.1.6 Suunnitelmien toteutus tutkimuksen aikana

Näytteenottimen vaatima 200 mm pitkä näytteenottopiste DN65 PN6 -laipalla lisättiin piirustuksiin ennen pakoputken asentamista. Pakoputken paikalleen asentamisen jälkeen kyseinen näytteenottopiste lisättiin pakoputkeen.

Tarkastuksessa todettiin, että MCS 100 E HW:ltä FID:lle kulkeva 0,75 m pitkä lämmitetty näytelinja on tukossa molemmista päistä. Tukkeumat saattavat johtua huolimattomasta analysaattorin sammutuksesta, jolloin laitteistoon on jäänyt hieman mitattavaa kaasua. Jäähtynyt kaasu on valunut kohti laitteiston alinta paikkaa, jotka ovat FID ja sen näytelinja. Näytelinjan tukoksien avaamista on mahdollista koittaa poraamalla reikä 2–3 mm terällä. Poraamisen jälkeen loput tukoksen aiheuttaneesta aineesta voidaan kaapia pois sopivilla työvälineillä. Teräksestä valmistetut näytelinjan liitinpäät ovat noin 7 cm pituisia. Liitinpäät voivat olla tukkeutuneena koko 7 cm matkalta. Lisäksi MCS 100 E HW:n ja FID:n välisen näytelinjan liitoskohta FID:ssä todettiin olevan tukossa. Mahdollinen FID:n komponenttien hapettuminen tulee tarkastaa huollon yhteydessä. FID:n sisältämät putket tulee todennäköisesti vaihtaa.

Yleisessä tarkastelussa huomattiin, että laitekaapin sisällä oli sinne kuulumatonta irtonaista tavaraa. Ylimääräiset tavarat kerättiin erilliseen laatikkoon mahdollista myöhempää käyttöä varten. Tiedonsiirtoon tarkoitettu laitteelta lähtevä Ethernet-johto on katkaistu, joten tilalle pitää hankkia uusi johto tai asentaa uusi liitin katkaistuun johtoon.

4.2 EEPS-hiukkaskokospektrometrin asennus

4.2.1 Asennus laboratorioihin 1 ja 2

Laboratorioiden 1 ja 2 pakoputket ovat asennusratkaisultaan lähes samanlaiset, joten EEPS:n asennus näihin laboratorioihin voidaan toteuttaa samalla tavalla. Pakoputkea ei ole vielä asennettu laboratorioon 2, joten muutokset EEPS:n asennukseen ovat mahdollisia, jos pakoputken asennus toteutetaan eri tavalla kuin laboratoriossa 1. Pakoputken asennuksen jälkeen tulee arvioida uudelleen, voidaanko EEPS:n asennus toteuttaa samoin kuin laboratoriossa 1.

Laimennuksen ja hiukkasten ominaisuuksien vuoksi EEPS tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle laimenninta eli mahdollisimman lähelle näytteenottopaikkaa. Tämän vuoksi spektrometriä ei sijoiteta samaan tilaan muiden mittalaitteiden kanssa, vaan samaan tilaan kuin moottori. Moottorin välitön läheisyys on tarkoin suunniteltu moottorin tarpeiden mukaan, joten ylimääräistä tilaa ei ole. Moottorin pakoputken ja laitteiden näytteenotto- paikka on noin kolmen metrin korkeudella. Tämän vuoksi EEPS voidaan sijoittaa esimerkiksi pakoputken huoltotasolle. Vaihtoehtoisesti laitteelle voidaan rakentaa oma taso pakoputken huoltotason viereen. Laboratorioon asennettavien kierreportaiden yläosassa on tasanne, jota voidaan hyödyntää laitteen sijoituksessa. Jos EEPS asennetaan portaiden ylätasanteelle, vältetään ylimääräisen tason rakentamiselta. Lisäksi laitteen siirtäminen paikalleen on helppoa valvomon ja aputilan välisen oven kautta.

Portaiden ylätasanne mahdollistaa laitteen turvallisemman ja helpomman saatavuuden sekä huoltoa että tarkastusta varten. Laboratorion voimakkaan ilmanvaihdon ja tärinän stabiiliuden vuoksi EEPS on mahdollista sijoittaa moottoritilaan ilman erillistä kotelointia

tai suojausta (Tavast 2017). Laite vaatii ainoastaan sähköliitännän ja näytelinjan, joten kalibrointikaasun tarve ei rajoita laitteen sijoitusta. Laite voidaan sijoittaa itsenäisesti erilliseen aputilasta ja muista analysaattoreista. Mittaustiedot siirretään EEPS:ltä valvomoon datakaapelin avulla. Datakaapelin reitityksessä voidaan käyttää apuna muiden johtojen läpivientä.

Laitteen mahdollinen sijoituspaikka laboratorioon 1 on esitetty kuvassa 21 punaisella katkoviivalla. Laimenninpään paikka on esitetty kuvassa Kuva 22 mustalla laatikolla. Jos laite sijoitetaan portaiden yläosaan, se on helppo siirtää laboratorioden 1, 2 ja 3 välillä, sillä matkalla on ainoastaan muutama kynnyks. Samalla vältetään laitteen tarpeettomalta nostamiselta ylös omalle paikalleen esimerkiksi pakoputken huoltotasolle.

EEPS:n liikuttamisen helpottamiseksi sille voidaan rakentaa oma vaunu. Vaunun avulla spektrometriä ja apulaitteita voidaan liikuttaa kokonaisuutena paikasta toiseen. Laboratorioden välisten kynnysten ja ritilätasojen vuoksi tulee huomioida vaunun renkaiden koko. Isojen renkaiden ansiosta kynnysten ylitys on helpompaa. Lisäksi isoja ilmatäytteisiä ja lukittavia renkaita käytettäessä saadaan lisävaimennus tärinän estämiseksi. Laitteen mittaustaus perustuu tärinälle herkän elektrometrin arvoihin, joten mahdollisimman hyvä vaimennus tarkoittaa mittaustuloksia (Dahlkötter 2017). Vaunuun voidaan asentaa lisäksi kiinteä teline ohjausyksikköä varten.

4.2.2 Asennus laboratorioon 3

EEPS:n sijoittaminen laboratorioon 3 pakoputken mittaussyhteiden viereen on yksinkertaista. Laboratorioon yläosaan voidaan kulkea kävelytason kautta, joten laite voidaan siirtää vaunulla paikalleen kävelytasoa apuna käyttäen. Laboratorioon 3 moottoreita mitatessa spektrometrin siirtäminen eri mittapisteiden välillä on helppoa. Asennus ei vaadi läpivientä, jos hiukkasmittaukseen tarvittava näyte otetaan laboratorioon yläosan mittaussyhteistä. Valvontatietokoneiden sijoituksesta riippuen datakaapeli voidaan tuoda alas asennettua kaapelihyllyä pitkin tai suoraan seinää pitkin. Laitteen mahdollinen sijoituspaikka laboratorioissa 3 on esitetty kuvassa 17 (sivu 45) punaisella katkoviivalla. Laite voidaan

sijoittaa laboratorion yläosassa lähes mihin tahansa vapaaseen paikkaan. Pakoputken säteilemä lämpö rajoittaa laitteen sijoitusta liian lähelle pakoputkea, sillä laite ei voida sijoittaa liian kuumaan paikkaan. Paras vaihtoehto on sijoittaa laite mahdollisimman laajasti vapaana olevalle alueelle (Dahlkötter 2017; Tavast 2017).

4.2.3 EEPS:n laimenninpään asennus

Dahlkötterin (2017) ja Tavastin (2017) mukaan laimenninpään sijoittaminen mahdollisimman lähelle pakoputkea on tärkeää. Laimenninpään ja ohjausyksikön näytelinja rajoittaa niiden välisen etäisyyden kolmeen metriin. Pakoputken tärinävaimennuksen ansiosta laimennuspää voidaan asentaa suoraan pakoputken näytepisteeseen. Pakoputken korkean lämpötilan vuoksi laimenninpään ja pakoputken väliin tarvitaan noin viiden senttimetrin mittainen välikappale. Välikappaleen ansiosta voidaan välttää laimenninpään kuumuudesta johtuva vaurioituminen. Välikappaleena voidaan käyttää ruostumatonta teräsputkea. Putken asennuksessa tulee huomioida liitoskappaleet pakoputken 3/8” tai 1/2” BSP-kierrettä ja laimennuspään 10 mm Swagelok-liitintä varten (Dahlkötter 2017; Tavast 2017). Jokaisen laboratorion pakoputkeen voidaan tehdä laimenninpäälle omat välikappaleet, joita ei ole tarvetta siirtää muun laitteiston mukana. Välikappaleen pituus määräytyy pakoputken eristysmateriaalin paksuuden mukaan. Laimenninpää tulee olla asennettu eristysmateriaalin ulkopuolelle. Valmiiksi asennettuja välikappaleita käytettäessä asennustyön määrä vähenee, kun mittauspistettä vaihdetaan.

4.2.4 Hiukkasmittauksen muuttuvat vaatimukset

Nykyinen yksivaiheinen laimennin voidaan korvata 379030-mallisella kaksivaiheisella laimentimella. Kaksivaiheisella laimennuksella näytteestä voidaan poistaa haihtuvat komponentit. Tällöin hiukkaslukumäärää voidaan mitata GRPE/PMP-säädösten R83 ja R49 sekä täysin EURO 5 -vaatimusten mukaan. 379030-mallin kaasunäytteen höyrystämisputki voidaan kuumentaa jopa 400 celsiusasteeseen, mikä täyttää GRPE-vaatimukset. Kuumentamisen jälkeen näyte ei kondensoidu uudelleen jäähdytyksessä, olettaen että primäärilaimennuksen jälkeen näytteen lämpötila on alle näytteen kastepisteen. Kuumentamisen ja jäähdyttämisen jälkeen näyte laimennetaan uudelleen. Sekundäärilaimennuksen

avulla voidaan välttää hiukkasten tarttuminen aerosolin lämpötilaa matalammille pinnoille (TSI 2012: 19).

5 ANALYSAATTOREIDEN TIEDONKERUU JA LIITTÄMINEN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄÄN

Mittalaitteiden tarkoitus on tuottaa analysoitavaa dataa pakokaasun pitoisuuksista tutkimuksia varten. Mittalaitteilta tarvitaan tietona ainoastaan mitatut arvot ja mittausajankohdat tulosten sovittamiseksi muuhun järjestelmään sekä moottorinohjaukseen. Varsinaisen pakokaasumittausjärjestelmän rinnalla voidaan mitata testisellin lämpötilaa, kosteutta ja ilmanpainetta.

Mittalaitteiden mittatietojen tuonti automaatiojärjestelmään ja valvontatietokoneille on yksi merkittävimmistä asioista, koska mittalaitteet ovat eri tilassa kuin valvomo. Laitteiden lopullinen sijoituspaikka on kahdessa tai kolmessa eri paikassa. Tällöin analysaattoreiden mittaustietoihin tulisi päästä käsiksi ilman että mittaustietoja täytyy käydä luke-massa analysaattoreiden näytöiltä. Mittaustietojen helppo saatavuus yhdeltä pisteeltä tehostaa työskentelyä ja mittausta, jos valvomosta ei tarvitse poistua erikseen mittausten aikana. Automaattinen tiedonkeruu mahdollistaa vähäisemmän seurannan tarpeen valvomossa. Tällöin yksi henkilö pystyy seuraamaan yleistilannetta ja mittaustietoja reaaliaikaisesti valvomosta poistumatta. Analysaattoreiden automatisointi ja automaattinen tiedonkeruu eivät kuitenkaan poista täysin laitteiden käsittelytarvetta. Esimerkiksi laitteiden kalibroinnit, huuhtelut ja perustarkastukset tulee edelleen tehdä käsin toimivuuden varmistamiseksi. Analysaattoreiden automatisointi kalibrointeja ja huuhteluja varten on mahdollista, mutta tässä tapauksessa tärkeämpää on mittaustietojen tuonti laitteilta valvomoon.

Analysaattoreiden liittäminen automaatiojärjestelmään vaatii yhteensopivat tiedonsiirtoyhteydet. Mahdollisia nykyisiä liityntätapoja suoraan VEBIC:in automaatiojärjestelmään ovat analogiatiedot, Modbus/TCP, Profibus ja IEC61850 (Ihamäki 2017). SICK-laitekaapin analysaattorit ovat hyvin kehittyneitä itsenäisiä mittauslaitteita. SICK-laitekaapilta mittaustiedot voidaan automaattisesti kerätä esimerkiksi Modbus TCP/IP-yhteyden kautta. Aiemmin SICK-laitekaapin analysaattoreiden mittausdatan siirto ja seuranta on toteutettu laitteen antaman mA-signaalin muuttamisella Modbus TCP/IP -muotoon. Tästä tieto on siirretty edelleen Ethernet-kaapelin avulla. (Kortelainen 2017a.) Muuntaminen

tapahtuu analysaattorin sisällä olevan muuntimen avulla, johon tulee liittää lisäksi FID:n signaali johto. Gasmeter, Smoke Meter ja EEPs ovat hyvin edistyksellisiä analysaattoreita ja niiden valmistajilta on saatavilla valmiit ohjelmistot tietokoneella käytettäväksi. Laitteiden seuranta tietokoneelta ilman erillistä automaatiojärjestelmää on mahdollista. Valmiiden ohjelmistojen ansiosta kyseisten laitteiden mittaustiedot voidaan tuoda valvomoon erilliselle tietokoneelle ja näytölle pelkän signaalikaapelin avulla. Tällöin yhdistämisestä automaatiojärjestelmään ei tarvita. Tiedonsiirtoon tarvitaan sopiva kaapeli ja läpiviennit. Laitteiden omien ohjelmistojen kehittyneisyyden vuoksi ohjelmistot kannattaa ottaa käyttöön. Toisaalta ohjelmistojen sovittaminen automaatiojärjestelmään ei välttämättä onnistu, joten ohjelmistoja on käytettävä omilta tietokoneiltaan. Omien ohjelmistojen sisältämien analysaattoreiden tapauksessa tulee huomioida datakaapeleiden tarve ja sijoitus. EEPs sisältää itsessään tietokoneen, jossa kaikki laskenta tapahtuu, ja valmis tieto siirretään esitettäväksi erilliselle tietokoneelle RS 232 -sarjaportin avulla (Dahlkötter 2017; Tavast 2017). Gasmeterin tuottamat mittausravot siirretään Ethernet-verkkokaapelin avulla erilliselle tietokoneelle, jonne tiedot tallennetaan. Smoke meter käyttää Gasmeterin tapaan RS 232 -sarjaporttia tiedon siirtämiseen.

Tiedonkeruu Wärtsilän moottoreista tulee huomioida heidän tarpeidensa mukaan. Tiedonkeruuta varten rakennuksen automaatiojärjestelmän ja analysaattoreiden väliin otetaan käyttöön erillinen tiedonkeruujärjestelmä. Wärtsilä toimittaa kyseisen järjestelmän, joka on nimeltään LabTool. SICK-laitekaappi voidaan liittää suoraan LabTooliin, joka liitetään edelleen automaatiojärjestelmään. Kortelaisen (2017a) mukaan laitekaapin tieto siirretään Modbus TCP/IP:nä, jonka avulla järjestelmä kerää datan ja esimerkiksi muuttaman minuutin testisykleistä lasketaan keskiarvo viimeisimmille minuuteille. Automaatiojärjestelmän tuottamat raportit riittävät yleiseen käyttöön, varsinkin jos raportin muotoa ja laskentasääntöjä voidaan muokata tarvittaessa. LabTooliin voidaan mahdollisesti liittää myös Technobothnian mittauslaitteisto.

Mahdollisesti muiden laitteiden ohjelmistollinen sovittaminen automaatiojärjestelmään automaattisen tiedonkeruun ja esimerkiksi kalibroinnin osalta voidaan toteuttaa myöhemmin. Kaikki olemassa olevat laitteet eivät tue automaattista ohjausta tai etäkäyttöä, jolloin

laitteiden liittäminen järjestelmään muuhun kuin datankeräämiseen on turhaa. Analysaattoreiden käyttöohjeiden mukaan kaikilta aiemmin lueteltuilta analysaattoreilta on mahdollisuus saada signaali analogisena mA-muodossa tai digitaalisena RS232-sarjaportin kautta. Datakaapeleiden signaalit ovat yleensä luokkaa 0–10 VDC tai 0–5 mA. Jännite- ja virtasignaalit ovat hyvin pieniä verrattuna mahdollisiin lähellä kulkevien voimajohtojen jännitteisiin ja virtoihin. Signaalijohtojen pituudet tulisi pitää mahdollisimman lyhyenä varsinkin analogisen tiedonsiirron johdoissa. Signaali johdoissa siirrettävä raakadata tulee käsitellä, joten käsittelyssä voidaan käyttää tietokonetta mittalaitteiden läheisyydessä. Tietokone voidaan yhdistää esimerkiksi lähiverkkoon, jonka kautta tieto saataisiin valvomoon. Mittausjärjestelmään kuuluvat apulaitteet kuten kuivaimet, näytelinjat ja mahdolliset lisäpumput ovat automaatiojärjestelmästä täysin erillään toimivia laitteita. Nymanin (2017) mukaan näytelinjojen mallista riippuen näytelinjat on mahdollista yhdistää automaatiojärjestelmään esimerkiksi jonkun analysaattorin kautta. Esimeriksi SICK-laitekaappi tukee muutamien näytelinjojen ohjausta, mutta sen sisältämän FID:n vuoksi kaikki ohjaimet ovat käytössä.

VEBIC:n automaatiojärjestelmän ulkopuolelle jäävien laitteiden datankeruuseen tarvitaan oma järjestelmä, joka voidaan tehdä itse tai ostaa valmiina ulkopuoliselta valmistajalta. Aluksi voidaan käyttää Technobothnian laboratoriossa käytettävää järjestelmää, ja mahdollisesti kehittää järjestelmää lisää. Joka tapauksessa nopeakäyntisten moottoreiden mittaukseen liittyvä tiedonkeruu on automaatiojärjestelmästä erillinen oma järjestelmänsä. Muokattavuus ja yhteensopivuus kaikkien laitteiden kanssa ovat vaatimuksia sekä itsetehdylle että ostetulle tiedonkeruujärjestelmälle.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli suunnitella pakokaasumittausjärjestelmä Vaasan yliopiston uuteen moottorilaboratorioon. Tutkimuksen tavoitteen saavuttamiseksi tutustuttiin moottorilaboratorioihin AGCO Powerilla Nokian Linnavuorella ja Wärtsilä Finlandilla Vaasan Vaskiluodossa. Laboratoriovierailujen tarkoitus oli tutustua toimiviin pakokaasumittausjärjestelmiin ja ottaa niistä oppia. Laboratoriovierailujen ansiosta saatiin hyvä kokonaiskuva tarpeista ja mahdollisuuksista. VEBIC:n suunnitteluvaiheessa pakokaasumittausjärjestelmän huomioiminen olisi ollut taloudellisempaa. Lisäksi olisi voitu saavuttaa ratkaisuja, jotka olisivat olleet helpommin toteutettavissa. Jälkikäteen suunnittelussa ja asentaessa kustannukset kasvavat ja asennus hankaloituu.

Mittalaitteiden erilaiset vaatimukset ja ominaisuudet vaikuttivat suunnitteluun sijoittelun osalta. EEPS-hiukkaskokospektrometri ja SICK-laitekaappi poikkeavat sijoitukseltaan muista laitteista. Sijoitukseen vaikuttivat laitteiden kyky kestää lämpöä ja muuttuvaa ympäristöä sekä rajoitettu näytelinjojen pituus. SICK-laitekaapin sijoittaminen moottoritilaan on parempi vaihtoehto kuin yläkerran aputilaan sijoittaminen. Moottoritilaan sijoittamalla SICK-laitekaappi on lähellä molempia laboratorioita, joissa laitekaappia käytetään pakokaasumittauksissa. Näytelinjat eivät vaadi siten erillistä läpivienttiä laboratorioon 1. SICK-laitekaappi asennetaan kiinteästi laboratorion 1 moottoritilaan. EEPS-hiukkaskokospektrometri tulee asentaa siirrettäväksi eri laboratorioiden välillä. Laboratoriossa 1 ja 2 EEPS asennetaan moottoreiden pakoputkien mittapisteen viereen portaiden yläosan tasanteelle. Laboratoriossa 3 EEPS asennetaan laboratorion yläosaan mittapisteen läheisyyteen.

Technobothnian mittalaitteita käytetään kaikissa VEBIC:n laboratorioissa, joten mittalaitteille tulee olla kaksi sijoituspaikkaa. Laitteiden siirtäminen muodostaa aina riskin rikkoutumiselle, joten mahdollisimman vähäinen siirtäminen on eduksi. Laboratoriossa 3 voidaan mitata kahdesta sellistä yhdestä mittalaitteiden sijoituspaikasta. Mittalaitteet sijoitetaan laboratorion alaosaan testisellien eteen. Laboratorioiden 1 ja 2 mittauksissa käytetään laboratorion 1 yläkerran aputilaa. Aputilaan pitää tehdä läpiviennit mittalaitteiden näytelinjoille. Laboratorion 2 mittaukseen joudutaan tekemään toinen läpivienti jokaista

näytelinjaa kohden. Laitteiden sijoituspaikkojen valinnassa huomioitiin lisäksi laitteiden saatavuus ja kulkuyhteydet.

SICK-laitekaapin FID pitää huoltaa kaikkine komponentteineen ennen käyttöönottoa. FID vaatii parametrisoinnin, perustarkastuksen, perushuollon ja korroosion aiheuttaman tukoksen poiston. Lisäksi MCS-yksikölle tulee tehdä lineaarisuuden tarkastus Wärtsilän avustamana. Laboratorioon 1 tulee asennuttaa FID:n polttokaasulle kaasuputki. EEPS:n siirtämisen helpottamiseksi voidaan rakentaa vaunu, johon kyetään spektrometrin lisäksi asentamaan laimennuspää ja ohjausyksikkö. Erilliset vaunut voidaan rakentaa lisäksi muille analysaattoreille. Vaunujen ilmatäytteiset pyörät vaimentavat samalla laitteisiin kohdistuvaa tärinää.

Mittalaitteiden tiedonkeruussa voidaan käyttää hyväksi analogista tietoa tai väylätietoa. Väylätiedonsiirtoa tukevat laitteet voidaan tarvittaessa yhdistää rakennuksen automaatiojärjestelmään. SICK-laitekaapin mittaustiedot kerätään väylän ja LabTool-ohjelmiston avulla. LabTool liitetään edelleen rakennuksen automaatiojärjestelmään. Muiden mittalaitteiden tiedonkeruuseen käytetään aiemmin käytössä ollutta järjestelmää.

Osa suunnitelmista toteutettiin tutkimuksen aikana. Toteuttamisen jälkeen voitiin osittain todeta, että asennuksessa huomioitavat asiat voivat muuttua tai lisääntyä. Esimerkiksi SICK-laitekaapin tarkastelussa todettiin tukoksia FID:ssä ja sen näytelinjassa. Kaikkien mittalaitteiden näytelinjojen asennuksessa kiinnitystavat ja reitit voivat vaatia muutoksia. Mittayhteet asennettiin laboratorioden 1 ja 3 pakoputkiin suunnitelman mukaisesti. Laboratorion 1 mittayhteiden toteutusta voidaan käyttää vastaavasti laboratoriossa 2. Moottorilaboratorio 1:n pakoputken asennus aloitettiin helmikuun alussa, jolloin aiemmin suunnitellut mittausyhteet asennettiin pakoputkeen. Mittausyhteet asennettiin 0,2 metrin välein, viimeisenä SICK-laitekaapin vaatima erillinen laipallinen näytteenottimen kiinnityspiste.

Hiukkasmittauksissa voidaan tehdä muutoksia mittaustapaan ja -paikkaan. Tutkimuksista riippuen mittauksia saattaa olla tarve tehdä ennen turboahdinta tai heti turboahdinten jäl-

keen. Mittauspaikka on standardeissa yleensä erikseen määritetty. Dahlkötter (2017) ehdotti mahdollista erillistä tutkimusta mittauspisteiden sijainnin vaikutuksesta hiukkasten määrään ja koostumukseen. Kyseisessä tutkimuksessa mittauspisteenä voidaan käyttää lähes mitä tahansa kohtaa pakoputkessa. Laboratorion 3 moottoreiden kokojen ansiosta moottorit soveltuvat edellä mainittuun tutkimukseen hyvin. Lisäksi moottoreiden pakoputkien asennuspaikan vuoksi analysaattori on helppo siirtää valitulle mittauspisteelle.

7 YHTEENVETO

Vaasan yliopistoon VEBIC-rakennukseen rakennetaan uusi polttomoottorilaboratorio osana Hercules-2-projektia. Projektin tavoitteena on vähentää moottoreiden vaikutuksia ympäristöön ja tuottaa propulsiovoimaa lähes nollapäästöillä. Moottorilaboratorion moottoreiden testaukset suoritetaan kesällä 2017 ja ensimmäiset mittaukset syksyllä 2017. Tämän diplomityön tavoitteena oli suunnitella uuden laboratorion pakokaasumittausjärjestelmä ja tutkia sen tarpeita.

Tutkimuksessa selvitettiin Technobothnian mittalaitteiden sopivin sijoituspaikka ja näytelinjojen reitit. Lisäksi selvitettiin SICK-laitekaapin ja EEPS-hiukkaskokospektrometrin sijoituspaikka ja näytelinjojen reitit. EEPS ja SICK-laitekaappi poikkeavat sijoitukseltaan muista laitteista. Sijoituspaikkaan vaikuttivat mittalaitteiden ominaisuudet ja niiden ympäristölle asettamat vaatimukset. Lisäksi sijoitukseen vaikuttivat laitteiden kyky kestää lämpöä ja muuttuvaa ympäristöä sekä rajoitettu näytelinjojen pituus. Laitteiden sijoitus rajoittui näiden vaatimusten vuoksi, vaikka kaikille mittalaitteille olisi tilan puolesta useita mahdollisia sijoituspaikkoja. Mittalaitteita pitää siirtää laboratorioden välillä mitauspisteen mukaan.

Moottorilaboratorion 1 moottoritilassa on odotettavissa vaihtelevia lämpötiloja, joten Technobothnian mittalaitteisto sijoitetaan laboratorion 1 yläkerran laitetilaan. SICK-laitekaappi on valmistettu vaativaan ympäristöön, joten kiinteä sijoittaminen moottoritilaan ei ole ongelma. Moottoritilaan sijoittaminen tuo mukanaan etuja, sillä esimerkiksi laitetilaa siirtäessä laitekaappi pitäisi purkaa oviaukkojen läpi kuljettamiseksi. Laitetila sijaitsee erillään moottoritilasta, mikä osaltaan hankaloittaa näytelinjojen reititystä. Laboratorion 2 mittauksissa käytetään mittalaitteita samassa laitetilassa kuin laboratorion 1 mittauksissa. Laboratoriossa 3 laitteet siirretään ja sijoitetaan testisellin ulkopuolelle, jolloin samassa paikassa voidaan mitata laboratorion 3 kahdesta sellistä. Näytelinjojen reitityksissä tulee huomioida useita seikkoja, sillä näytelinjat ovat lämpösaattettuja. Tutkimuksessa ei voitu ottaa huomioon tarkkoja yksityiskohtia esimerkiksi näytelinjojen asennus-

tavoissa. Näytelinjojen asennuksen yksityiskohdat selviävät vasta asennusvaiheessa. Laboratorion 1 aputilaan asennettavien mittalaitteiden näytelinjojen läpivienti on suositeltavaa tehdä seinän alareunasta.

Technobothnian mittalaitteistoa ja EEPS-hiukkaskokospektrometriä täytyy siirtää tarpeen mukaan mittauspaikkojen välillä. Laboratorion 1 yläkertaan sijoitettuna Technobothnian mittalaitteistolla voidaan mitata laboratorioden 1 ja 2 moottoreiden päästöjä. Laboratorion 3 mittauksia varten mittalaitteet tulee siirtää laboratorion 3 alaosaan. SICK-laitekaappi asennetaan kiinteästi laboratorion 1 moottoritilaan laboratorion 1 ja 2 moottorin mittauksia varten. SICK-laitekaappia ei käytetä laboratorion 3 mittauksissa. EEPS-hiukkaskokospektrometri täytyy asentaa erikseen jokaiseen laboratorioon mittaustarpeen mukaan, sillä laitteen lyhyt näytelinja rajoittaa sijoitusetäisyyttä.

Tutkimuksessa suunniteltiin lisäksi SICK-laitekaapin toimitus Wärtsilästä VEBIC:iin ja laitekaapin käyttöönottoon liittyvät seikat. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin analysaattoreiden tiedonkeruujärjestelmän tarpeita ja mahdollisuuksia. Technobothnian mittalaitteiden tiedonkeruuseen käytetään samaa järjestelmää kuin aiemmin. EEPS liitetään tietokoneeseen oman ohjelmiston avulla. SICK-laitekaappi liitetään rakennuksen automaatiojärjestelmään LabTool-työkalun avulla.

LÄHDELUETTELO

- AGA Oy (2012). Teollisuuskaasut [online]. [Viitattu 20.4.2017], 28 s. Saatavissa: www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20IG%20Gases%20White%20Paper%20FI634_120490.pdf.
- Anttila, Hannu (2017). VEBIC-4L20 Pakop päivitettyt kuvat. Sähköpostiviesti Olav Nilssonille 4.1.2017.
- AVL (2014). AVL product description [online]. [Viitattu 27.3.2017], 4 s. Saatavissa: <https://www.avl.com/documents/10138/885893/AVL+Smoke+Meter+415SE>.
- AVL (2017). Measure & Control [online]. [Viitattu 27.3.2017]. Saatavissa: <https://www.avl.com/measure-control>.
- Dahlkötter, Florian (2017). Sales specialist, TSI GmbH. Haastattelu, Vaasa 8.3.2017.
- Eco Physics (2009). CLD 8xx / November 2009. [Käyttöohjekirja], 157 s.
- Elpac Oy (2017). Kaapelisuoja EC [online]. [Viitattu 4.4.2017]. Saatavissa: <http://elpac.fi/fi/tuote/kaapelisuoja-ec/>.
- Gasmet (2017). Gasmet DX4000 [online]. [Viitattu 13.2.2017] Saatavissa: <http://www.gasmet.com/products/portable-gas-analyzers/dx4000>.
- Hercules-2 (2017). The Programme [online]. [Viitattu 13.5.2017]. Saatavissa: <http://www.hercules-2.com>.
- Hillesheim GmbH (2014). Innovations for heating - Flexible electrical heating technology [online]. [Viitattu 22.3.2017], 116 s. Saatavissa: <http://www.hillesheim-gmbh.com/en/library/epaper/>.

Hilti (2017). Hilti Palokatkokaulus CFS-SL [online]. [Viitattu 4.4.2017]. Saatavissa: <https://www.hilti.fi/palokatkot-ja-palosuojaustekniikka/valuun-asennettavat-palokatkotuotteet-ja-palokatkokaulukset/r5223>.

Hilti Asiakaspalvelu (2017). Hiltin verkkosivusto - Sähköpostin yhteyshenkilö - Anna palautetta [#11663129]. Sähköpostiviesti Tomas Haapalalle 13.2.2017.

Ihamäki, Leevi (2017). Site Manager, Protaco Oy. Puhelu, 22.2.2017.

IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. 2. Causes of change. Intergovernmental Panel on Climate Change [online]. [Viitattu 13.5.2017]. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spms2.html.

IRL-suunnittelu Oy (2015). *Instrumentti-ilmakompressorit*. Tekninen erittely. Asiakirja n:o 4-560-00957.

ISO 8573-1 (2010). *Compressed air*. Part 1: Contaminants and purity classes. 9 s.

J.U.M. (2002). Users Manual, Sample Sequencer, Model VE 222. [Käyttöohjekirja], 30 s.

J.U.M. (2005). Users manual FID model VE 7, Engl. Version. [Käyttöohjekirja], 52 s.

J.U.M. (2011). About us [online]. [Viitattu 3.2.2017]. Saatavissa: <http://www.jum-aerosol.com/home.html>.

Kangas, Heikki (2017a). Myyntipäällikkö, SICK Oy. Haastattelu, Vaasa 6.2.2017.

Kangas, Heikki (2017b). MCS100W HW/ EuroFID polttoainekaasu. Sähköpostiviesti Tomas Haapalalle 23.4.2017.

- Kortelainen, Juha (2017a). RE: SICK MCS 100 HW specs. Sähköpostiviestiketju Tomas Haapalan kanssa 24.1.–23.4.2017.
- Kortelainen, Juha (2017b). Expert, emission expertise, Wärtsilä Finland Oy. Haastattelu, Vaasa 24.4.2017.
- M&C (2007). Operating Manual Electric gas cooler series EC Version ECM, 3rd Edition. [Käyttöohjekirja], 25 s.
- M&C TechGroup (2017). Electrically heated sample lines Type ¾/5-N/M/H [online]. [Viitattu 22.3.2017]. Saatavissa: http://www.mc-techgroup.com/out/pictures/files/D_NMH_EN.pdf.
- Martyr, A. & M A Plint (2012). *Engine Testing: The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities*. 4. Painos. San Diego: Elsevier Ltd. 600 s. ISBN: 9780080969503.
- Nilsson, Olav (2017a). Laboratorioinsinööri, Vaasan yliopisto. Haastattelu, Vaasa 6.2.2017.
- Nilsson, Olav (2017b). Mittalaitteiden probet. Sähköpostiviesti Tomas Haapalalle 22.3.2017.
- Nyman, Aarne (2017). Sr. Development Engineer, AGCO Power Oy. Haastattelu, Linnanvuori 9.2.2017.
- Sareskoski Oy (2017). Kannellinen kaapelisilta raskaaseen käyttöön [online]. [Viitattu 4.4.2017]. Saatavissa: <https://www.sareskoski.com/kaapelisillat/P9861>.
- SICK (2000). Heating Tube Type ELH information, Release 2.0. [Käyttöohjekirja] 13 s.

SICK (2003). EuroFID total hydrocarbon analyzer, /00845900.E05. [Käyttöohjekirja], 160 s.

SICK (2005). Gas Sampling Probe, Installation, Operation, Maintenance ver 1.0c. [Käyttöohjekirja], 52 s.

SICK (2017). MCS100E HW [online]. [Viitattu 7.2.2017] Saatavissa: <https://www.sick.com/de/en/product-portfolio/analyzer-solutions/cems-solutions/mcs100e-hw/c/g285463>.

Siemens (2006). Supplement to instruction manual ULTRAMAT 6 and OXYMAT 6, A5E00729183 08/2006. [Käyttöohjekirjan täydennysosa], 19 s.

Siemens (2011). Oxymat 61 operating instructions, A5E00123067-02 12/2011. [Käyttöohjekirja], 152 s.

Siemens (2012). Continuous Gas Analyzer, extractive, Siemens PA 01 2012. [Käyttöohjekirja], 34 s.

Tavast, Miki (2017). Tuotepäällikkö, Teknocalor Oy. Haastattelu, Vaasa 8.3.2017.

TSI (2012). Rotating disk thermodiluter model 379020A thermal conditioner air supply model 379030. Operation and service manual P/N 2980174 Rev G. [Käyttöohjekirja]. 97 s.

TSI (2016). Engine Exhaust Particle Spectrometer Model 3090, P/N 2980244 Rev E. [online]. [Viitattu 14.2.2017], 8 s. Saatavissa: http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Spec_Sheets/3090_2980244A.pdf.

TSI Inc. (2017a). About TSI. [online]. [Viitattu 14.2.2017] Saatavissa: <http://www.tsi.com/Company/>.

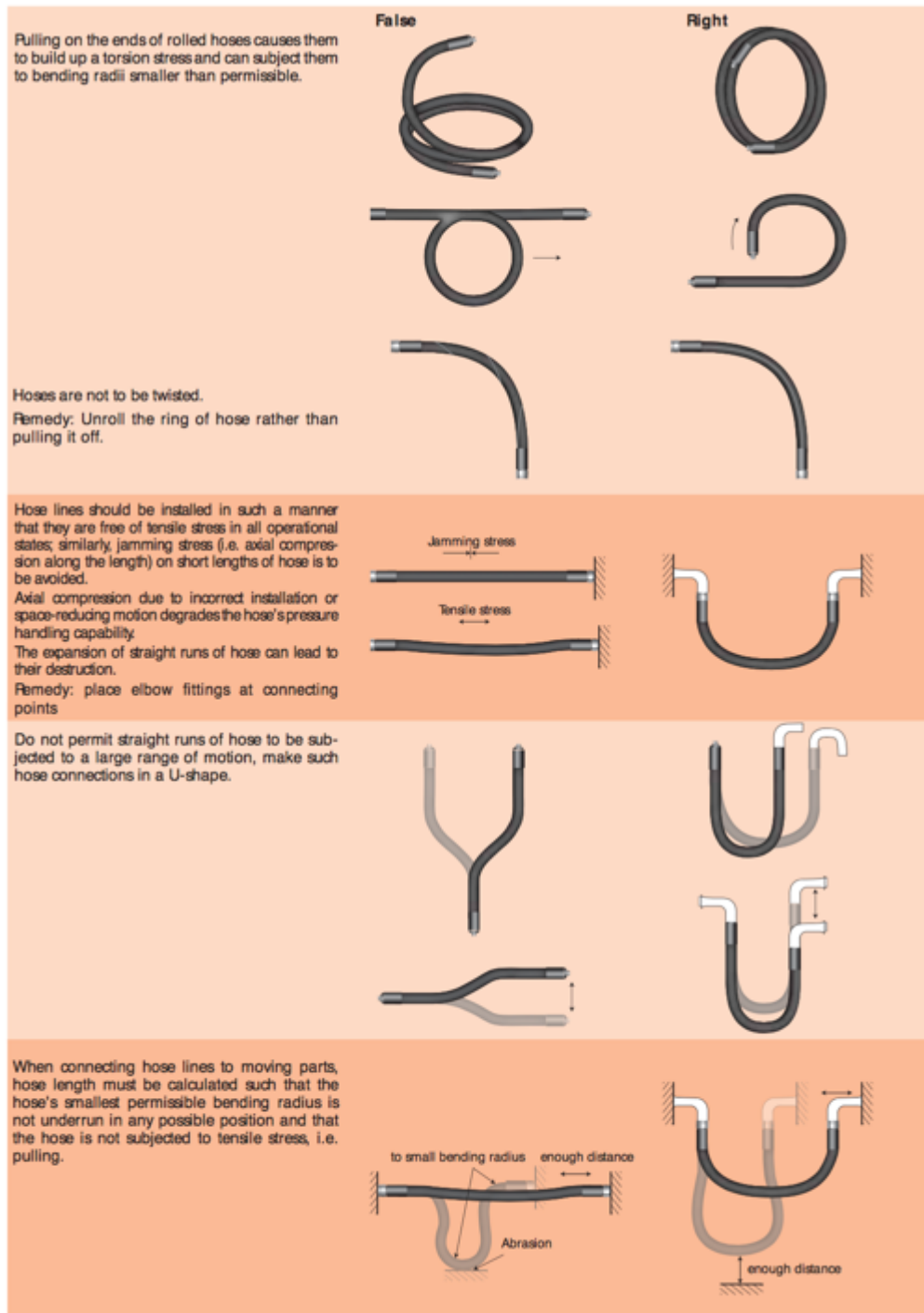
TSI Inc. (2017b). Engine Exhaust Particle Sizer Spectrometer 3090. [online]. [Viitattu 14.2.2017] Saatavissa: <http://www.tsi.com/engine-exhaust-particle-sizer-spectrometer-3090/>.

Tukes (2015). ATEX Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. [online]. [23.4.2017], 20 s. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/ATEX_opas.pdf.

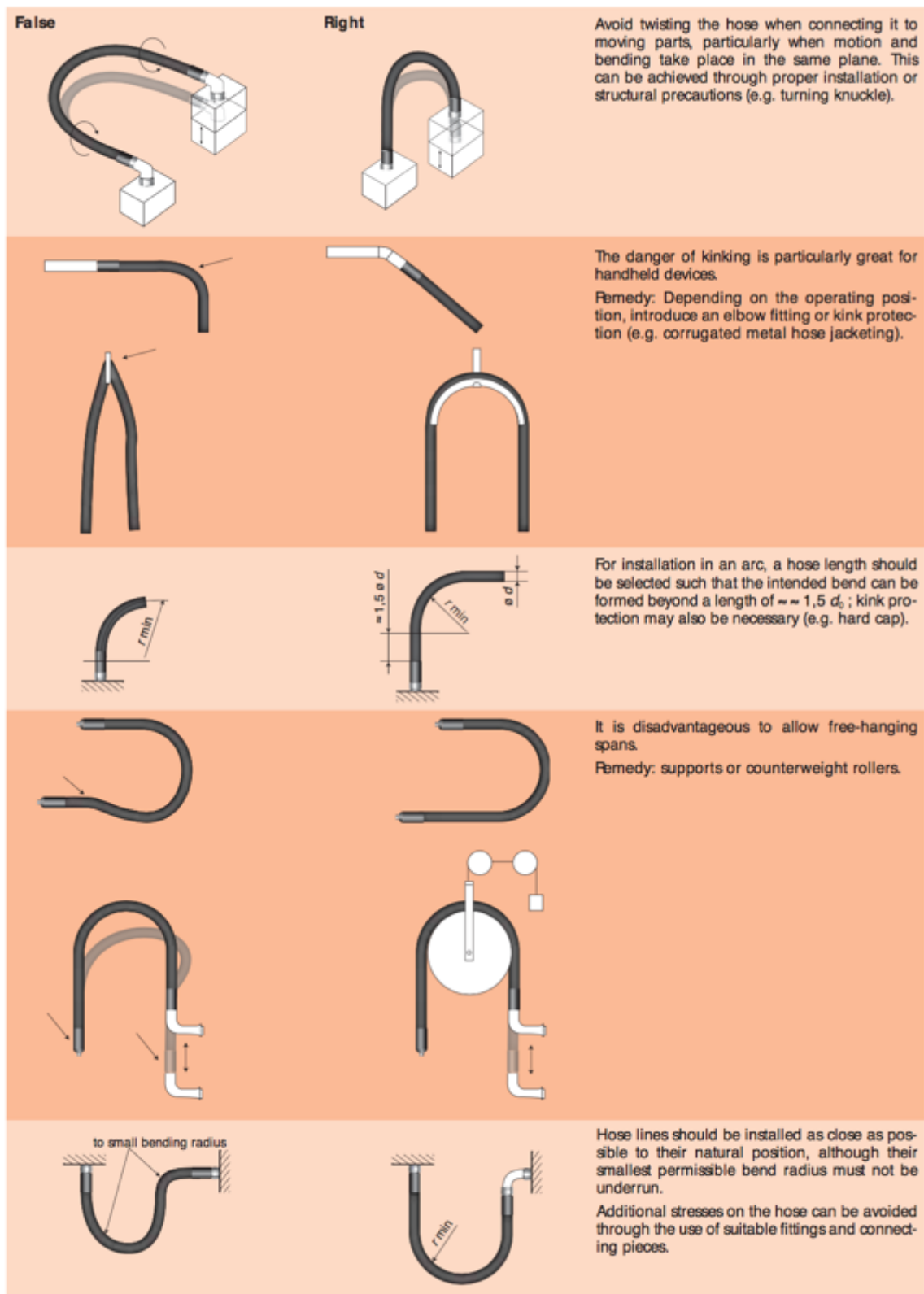
Vanhala, Nelli (2016). *Uusiutuvien dieselpolttoaineiden vaikutus pakokaasun pienhiukkasten koostumukseen*. Vaasan yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

LIITTEET

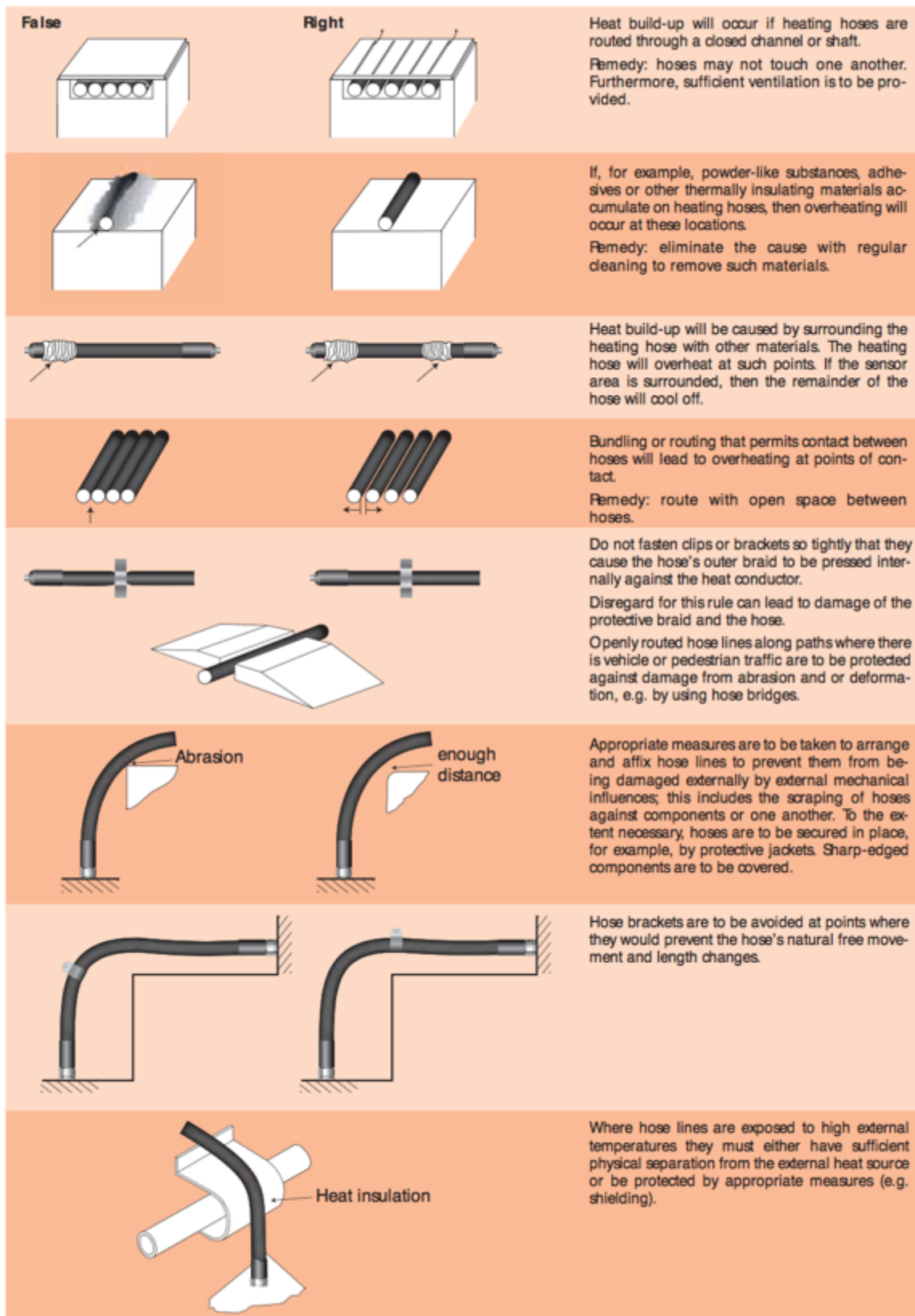
LIITE 1. Lämpösaatetun näytelinjan asennussuosituksia esitteestä.



Kuva 23. Lämpösaatetun näytelinjan asennussuosituksia (Hillesheim GmbH 2014: 16).



Kuva 24. Lämpösaattotun näytelinjan asennussuosituksia (Hillesheim GmbH 2014: 17).



Kuva 25. Lämpösaattetun näytelinjan asennussuosituksia (Hillesheim GmbH 2014: 18).